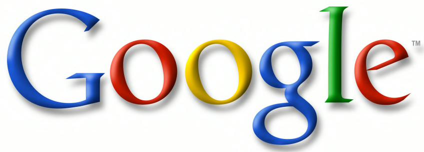



UC-NRLF
$B 24 542

EEN DILATOMETER.

VOOR KLEINE VOORWERPEN BIJ HOOGE TEMPERATUREN.

EEN DILATOMETER

voor kleine voorwerpen bij hooge temperaturen.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE

AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,

NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS

Dr. A. A. W. HUBRECHT

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE

volgens besluit van den senaat der Universiteit tegen de bedenkingen van de faculteit der Wis- en Natuurkunde te verdedigen

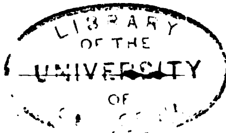
OP

WOENSDAG 18 DECEMBER 1901 DES NAMIDDAGS TE 3 UREN

DOOR

LEENDERT JOSUA TERNEDEN,

geboren te ROTTERDAM.



ROTTERDAM. – C. A. TERNEDEN.

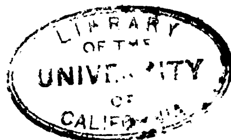
1901.

Aan mijne Ouders.

HOOGGELEERDE W. H. JULIUS, HOOGGEACHTE PROMOTOR,
HOOGGELEERDE V. A. JULIUS,

DE BELOFTE, DAT IK IN DE TOEKOMST
BIJ MIJN WERK STEEDS HET ◦ ◦ ◦ ◦
WETENSCHAPPELIJKE IN HET OOG
ZAL HOUDEN, ZAL U AANGENAMER
ZIJN DAN EEN DANKBAARHEID IN
WOORDEN.

INHOUD.



HOOFDSTUK I.

Inleiding.

Een nauwkeurige kennis van de veranderingen, die de afmetingen der vaste lichamen ondergaan bij temperatuurwisseling, heeft niet slechts praktische beteekenis, maar is ook van gewicht uit een meer wetenschappelijk oogpunt, daar deze veranderingen samenhangen met eigenaardigheden van den moleculairen bouw der lichamen en dus mede als gegevens moeten dienen bij het ontwerpen eener moleculaire theorie van den vasten aggregaatstoestand.

Het is daarom wenschelijk, voor vele stoffen tusschen wijde temperatuurgrenzen de uitzettingscoëfficiënten te kennen.

In dit proefschrift zal een toestel worden beschreven, ingericht voor het bepalen van uitzettingscoëfficiënten in gevallen, waar de tot nu toe gebezigde hulpmiddelen ons niet zouden kunnen dienen.

Aan de beschrijving van den nieuwen dilatometer moge voorafgaan een kort overzicht van hetgeen reeds

1

op het gebied van de bepaling der uitzetting van vaste lichamen bereikt is.

De oudste methoden berusten op het principe, dat de verkregen uitzetting aangewend wordt om een index, meestal een wijzer langs eene schaal bewegelijk, tot verplaatsing te brengen. *Musschenbroek* [1]), *Smeaton* [2]), *Steven Hoogendijk* en anderen in deze eerste periode gingen volgens deze methode te werk. Groote nauwkeurigheid is daarbij niet bereikbaar. Betere resultaten werden verkregen door *Lavoisier* en *La Place* [3]), hoewel het beginsel hetzelfde bleef. De uitzetting werd door hen aangewend om een kijker in beweging te brengen, die draaibaar was om eene as, en waarmede men dus aflezingen op eene schaalverdeeling kon doen. Door met lange staven, tot 2 Meter lengte toe, te werken en de schaalverdeeling op vrij grooten afstand te plaatsen, verkregen *Lavoisier* en *La Place* zeer bevredigende uitkomsten.

Ramsden's [4]) methode komt hierop neer, dat de te onderzoeken staaf twee mikroskopen draagt, waarvan de eene door eene mikrometerschroef verplaatsbaar is en na uitzetting der staaf weer in zijn beginstand kan teruggebracht worden. De uitzetting wordt dus bepaald

1) *Musschenbroek.* Commentar. tentam. Florent. Pars. II. pag. 12.

2) *Smeaton.* Phil. Trans. (1754) pag. 612.

3) *Lavoisier en La Place* (1872). { Oeuvres de *Lavoisier* t. I. pag. 158 t. II. pag. 739. Traité de Physique de *Biot.* t. I. pag. 146 s. s. q. }

4) *Ramsden.* Phil. Trans. (1757).

door af te lezen, hoever de mikroskoop teruggebracht moest worden.

Het apparaat van *Füss-Glatzel* [1]) vereenigde in zekeren zin de beide principes. Ook hier bracht de uitzettende staaf een wijzer in beweging. De wijzer werd door eene mikrometerschroef tot zijn nulstand teruggebracht en zoo de uitzetting afgelezen.

De Luc [2]), *Borda* [3]) en *Dulong en Petit* [4]) klemden twee staven van verschillende stof aan het eene einde vast tegen elkander; het andere einde droeg schaalverdeelingen. Bij uitzetting schoven deze schalen langs elkaar en lieten de uitzetting bepalen van de eene staaf ten opzichte van de andere.

De genoemde methoden geven onmiddellijk de lineaire uitzetting der lichamen. *Dulong en Petit* [5]) hebben deze ook indirect bepaald, uit de kubieke uitzetting. Deze laatste werd gevonden door vergelijking met de kubieke uitzetting van kwik, een grootheid, waarvan langs directen weg de waarde vooraf bepaald was. Een vat, geheel gevuld met kwik, laat bij verwarming een hoeveelheid uitvloeien. Bevindt zich een vast voorwerp in het kwik,

---

1) *Glatzel.* Pogg. Ann. Bd. CLX.

2) *De Luc.* Phil. Trans. t. LXXXVIII Journ. de Phys. de Delamétherie t. XVIII p. 363.

3) *Borda.* Traité de Physique de Biot. t. I. p. 164.

4) *Dulong en Petit.* Ann. de Chim. et de Phys. 2e série. t. II. p. 254 (1816).

5) *Dulong en Petit.* Ann. de Chim. et de Phys. 2e série t. II. p. 261 (1816).

dan zal een andere hoeveelheid kwik uitvloeien. Uit deze hoeveelheden uitgevloeid kwik en de bekende uitzettingscoëfficient van het kwik laten zich de uitzetting van het vat en die der vaste stof bepalen. *Matthiessen* [1]) heeft dezelfde methode gevolgd, doch in plaats van kwik water gebruikt.

Op een geheel ander beginsel berust de methode van *Fizeau* [2]). *Fizeau* vervaardigt ongeveer 10 m. M. lange cylindervormige stukjes van de te onderzoeken stof. De onderkant, waarmede dit staafje op een tafeltje staat, is vlak; de bovenkant zwak bolvormig gepolijst. De drie stelschroeven, waarop het tafeltje rust, loopen zóó ver door naar boven, dat daarop een vlakke glazen plaat gelegd kan worden. Bij belichting met monochromatisch licht vertoont zich een interferentieverschijnsel: de *Newton*'sche ringen. De bijzonderheden van dit lichtverschijnsel hangen af van de dikte der luchtlaag tusschen het gekromde bovenvlak van het voorwerp en het ondervlak der glazen plaat. De plaats van elken ring is bepaald door den afstand tusschen voorwerp en glazen plaat. Verandert deze afstand, wat bij uitzetting van het

1) *Matthiessen.* { Phil. Mag. IV Vol. XXXII (1866).
Pogg. Ann. Bd. CXXVIII en CXXX.

2) *Fizeau.* C. R. t. LVIII p. 923. Pogg. Ann. Bd. CXXIII. Ann. de Chim. et de Phys. 4e Série t. II. p. 143. (1864) C. R. t. LXII p. 1123. Pogg. Ann. Bd. CXXVIII. Ann. de Chim. et de Phys. 4e Série. t. VIII p. 435. (1866). Ook: *Benoit.* Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures. T. I. (1881). T. VI. (1888).

voorwerp gebeurt, dan zullen de ringen zich verplaatsen. Telt men het aantal voorbijgaande ringen, dan is hieruit de afstandsverandering tusschen voorwerp en plaat en dus de lengteverandering van het voorwerp te bepalen.

Vermoeiend en onzeker is echter dit tellen. Daarom heeft *Abbe* de methode van *Fizeau* zoodanig gewijzigd, dat dit bezwaar verviel. De volledige beschrijving van dezen verbeterden dilatometer kan hier achterwege blijven [1]; intusschen mag ik het principieele verschil tusschen het apparaat van *Abbe* en dat van *Fizeau* niet onvermeld laten, met het oog op de beschrijving van den door mij gebruikten dilatometer. Vermoeiend noemde ik het werken met het toestel van *Fizeau*. Waar toch de verwarming van een te onderzoeken stof uren in beslag kan nemen, spreekt het vanzelf, dat het tellen van interferentieringen bijna niet vol te houden is, en daarom tot vergissingen en dus onzekerheid moet leiden. Dit heeft *Abbe* verholpen. Bij het werken met diens toestel wordt het geheele aantal voorbijtrekkende interferentiefranjes, (door een kleine wijziging in den vorm der terugkaatsende oppervlakken zijn het nu geen ringen, maar rechte strepen,) *berekend*, de onderdeelen *gemeten*. *Abbe* gebruikt ook een ongeveer 10 m. M. lang cylindertje der stof, aan beide einden vlak. Daarboven

1) Katalog Opt. Messinstrumente. *Carl Zeiss*. Jena (1893) pag. 29.

Weidmann. Wied. Ann. 38 pag. 453 (1889).

Pulfrich. Zeitschrift für Instr. kunde. (1893)

bevindt zich een zwak wigvormige glasplaat. De wigvorm dient, om van het op het bovenvlak teruggekaatste licht geen hinder te hebben. Is de luchtlaag tusschen het ondervlak van de glasplaat en het bovenvlak van het staafje ook zwak wigvormig, dan vertoonen zich evenwijdige interferentielijnen, die bij uitzetting van het staafje zullen voorbijtrekken van de dunne naar de dikke plaatsen der luchtwig. *Abbe* bepaalt nu ten opzichte van een merkteeken den stand der interferentielijnen vóór en na de uitzetting, en wel met natriumlicht en lithiumlicht afzonderlijk. De uitzetting is dus uitgedrukt in een onbekend geheel aantal halve golflengten van natriumlicht en een bekende breuk. Evenzoo voor lithiumlicht. Uit deze gegevens laten zich door middel van een diophantische vergelijking verschillende waarden voor het onbekende geheele aantal golflengten bepalen. Welke dezer waarden de juiste is, wordt aangewezen door een berekening, welke aangeeft hoe groot *ongeveer* dit aantal moet zijn. Men kan dit immers vinden uit een voorloopig bepaalde uitzettingscoëfficient. De proeven met dit door *Abbe* gebouwde toestel zijn genomen door *Weidmann.*

Ten slotte zij nog vermeld de methode, door *Le Châtelier* [1]) gevolgd. Deze fotografeerde een ongeveer 50 c. M. lange staaf bij de begin- en de eindtemperatuur en mat op de fotografische plaat de lengteverandering.

---

1) *Le Châtelier.* C. R. CVIII pag. 1096 (1889) Beibl. XIII pag. 644 (1889).

Een grootere nauwkeurigheid dan 0,02 à 0,01 m. M. was hiermede niet bereikbaar. Dat *Le Châtelier* echter deze zooveel ruwere methode, na de onderzoekingen van *Fizeau* e. a., nog toepaste, was met het oog op de hoogere temperaturen, waarbij hij zijn proeven wilde doen, en waarvoor de overige instrumenten vrijwel ongeschikt waren.

Overzien wij, wat tot nu toe verkregen is, dan blijkt, dat die methoden, welke het werken met hooge temperaturen toelaten, (*Musschenbroek*, *Smeaton*, *Le Châtelier*), tevens het gebruik van vrij lange staven der te onderzoeken stof vorderen; terwijl de methoden, die nauwkeurig genoeg zijn om ook met kleine hoeveelheden stof goede uitkomsten op te leveren, (doordat zij toelaten zeer kleine verplaatsingen te meten, zooals die van *Fizeau* en *Abbe*), wederom niet geschikt zijn voor toepassing bij hooge temperaturen.

Bovendien is het moeilijk een lange staaf over hare geheele lengte volkomen vertrouwbaar op dezelfde temperatuur te houden, wat bij een klein voorwerp geen overwegende bezwaren geeft.

Stellen wij nu echter den eisch, dat de uitzetting bij zeer uiteenloopende temperaturen nauwkeurig bepaald moet kunnen worden, en dat wel ook van stoffen, waarvan men slechts kleine stukken aan de proef kan onderwerpen (zooals zeldzame metalen, kristallen, enz.) dan is geen der genoemde methoden voor toepassing vatbaar.

Het apparaat van *Abbe* beantwoordt nog het best

aan de gestelde voorwaarden, daar hiermede een groote nauwkeurigheid is te bereiken, en men slechts kleine voorwerpen noodig heeft om een bepaling te kunnen doen. Maar wenscht men de temperatuur waarbij het onderzoek plaats vindt hooger op te voeren, dan laat ook deze dilatometer in den steek. Voorwerp, tafeltje, glasplaat voor het te voorschijn roepen der interferentielijnen, alles bevindt zich in de te verwarmen ruimte, aan ééne zijde bovendien nog verbonden aan de apparaten om het interferentieverschijnsel waar te nemen. Hoe moet men deze vrij groote ruimte op gelijkmatige hooge temperatuur brengen? Hoe zal de glaswig zich gedragen bij die temperatuur, indien het gelukte deze te verkrijgen? Noch *Fizeau*, noch *Abbe-Weidmann* werkten bij eene temperatuur hooger dan een honderdtal graden, en reeds moest een correctie aangebracht worden voor de verandering van den brekingsindex der luchtlaag tusschen voorwerp en glasplaat. Bij temperatuurtoename wordt toch de brekingsindex van de lucht kleiner en neemt de golflengte van de gebruikte lichtsoort toe. En juist deze golflengte is de eenheid, welke aan de metingen ten grondslag ligt. Van welken aard zal deze correctie worden, — al is zij bij lagere temperaturen gering, — als de verwarming tot 1000° gaat? Ten slotte nog eene vraag: Laat elke stof zich zóó polijsten, dat interferentielijnen zichtbaar worden?

Misschien waren sommige dezer vragen nog voor een goede oplossing vatbaar; maar indien men, wat de hoofdzaken betreft, zou willen vasthouden aan den bouw

door *Fizeau* en *Abbe* gekozen, acht ik het niet mogelijk al deze moeilijkheden uit den weg te ruimen, zonder weer andere, groote bezwaren in het leven te roepen.

Bij den dilatometer, die op de volgende bladzijden beschreven zal worden, zijn zooveel mogelijk de goede eigenschappen der vroegere instrumenten behouden en die welke tot meer of minder onoverkomelijke moeilijkheden aanleiding geven, vermeden. Op den voorgrond gesteld is de eisch, dat met kleine voorwerpen moet kunnen worden gewerkt. Daarom werd de meetmethode door middel van interferentiestrepen gekozen, doch aangewend in een nog gemakkelijker te gebruiken vorm, dan de door *Abbe* gebezigde. Beslist afgescheiden van elkander zijn die deelen van het instrument, waar verwarmd en die, waarmede gemeten wordt. En de verwarming kan, zonder dat de nauwkeurigheid der metingen daaronder lijdt, opgevoerd worden tot temperaturen boven 1000°. Bij nadere beschrijving zal dit aan het licht komen. Bovendien zou met eenige wijzigingen, zelfs een temperatuur van 1500° bereikbaar zijn.

HOOFDSTUK II.

Interferentieverschijnselen, verkregen door middel van verzilverde glasplaten.

Zooals in de inleiding even is aangestipt, worden bij onzen dilatometer de metingen gedaan met behulp van interferentielijnen. Wegens de bijzondere wijze, waarop deze worden toegepast, kan ik niet volstaan met te verwijzen naar de hoofdstukken over dit onderwerp in de handboeken over natuurkunde, doch moet ik de methode om dit interferentieverschijnsel te verkrijgen en de manier om er mede te werken geheel behandelen.

Laat men op een luchtlaagje, verkregen door 2 glasplaatjes op korten afstand van elkander te plaatsen, monochromatisch licht vallen, dan ziet men zoowel bij teruggekaatst als bij doorvallend licht een aantal strepen, waarvan de vorm afhankelijk is van den vorm en den stand der glasplaatjes. In 't algemeen ziet men een verlicht veld in de kleur der gebruikte lichtsoort, doorsneden door meer of minder donkere lijnen. Deze donkere lijnen zijn, als men het verschijnsel bij terug-

gekaatst licht waarneemt, absoluut zwart, bij doorgaand licht niet zoo donker. Daarentegen is bij doorgaand licht de intensiteit van de lichte plaatsen grooter dan bij teruggekaatst licht. De zuiverheid van het gebruikte licht is van invloed op het uiterlijk van de interferentie-strepen.

Is f het terugkaatsend vermogen (d. w. z. de intensiteit van het teruggekaatste licht, als die van het invallende licht gelijk 1 wordt gesteld) van de glas-oppervlakte, dan is in den doorgelaten lichtbundel de verhouding van de licht-intensiteit op de donkere en lichte plaatsen in het veld $\rho = \left(\frac{1-f}{1+f}\right)^2$, hetgeen volgt uit de theorie der lichtverschijnselen [1]) bij dunne laagjes. Weet men f te veranderen, dan zal ρ veranderen en kan men dus het verschijnsel der donkere lijnen wijzigen. Dit is hetgeen *Fabry* en *Pérot* [2]) hebben gedaan. Zij wijzigden het reflecteerend vermogen van de glas-oppervlakten, door deze te verzilveren, echter zóó dun, dat voldoende licht doorgelaten werd. Men heeft dan in volgorde glas, zilver, lucht, zilver en glas, dus een luchtlaag, die als het ware aan beide zijden verzilverd is. *Fabry* en *Perot* spreken dan ook van een „lame mince d'air argentée". Door dit verzilveren wordt f zeer groot en verandert ρ als volgt:

---

1) Cf. o.a. *Wüllner*. Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. IV. (1899) pag. 551.

2) *Ch. Fabry* en *A. Pérot*. Ann. de Chim. et de Phys. 7e Série. T. XII (1897) pag. 459.

f	$\rho = \left(\frac{1-f}{1+f}\right)^2$
0,042	0,845
0,100	0,669
0,200	0,444
0,300	0,290
0,400	0,184
0,500	0,111
0,600	0,063
0,650	0,045
0,700	0,031
0,750	0,020
0,800	0,012
0,850	0,007
0,900	0,003
0,950	0,001
1,000	0,000

Heeft men onverzilverd glas, met $f = 0{,}042$, dan is dus $\rho = 0{,}845$, doch bij eene verzilvering, die aan het oppervlak een $f = 0{,}750$ geeft, wordt $\rho = 0{,}020$. Indien wij deze voorbeelden nader beschouwen, dan zien wij hoe sterken invloed het verzilveren op het verschijnsel heeft. Is *a* de amplitude van het invallende licht, dan is de intensiteit van het doorgelaten licht, volgens de theorie [1]: $I = a^2 \frac{(1-f)^2}{(1-f)^2 + 4\, f \sin^2 \pi \frac{\Delta}{\lambda}}$. Hierin is f het reflecteerend vermogen van één oppervlak, λ de golf-

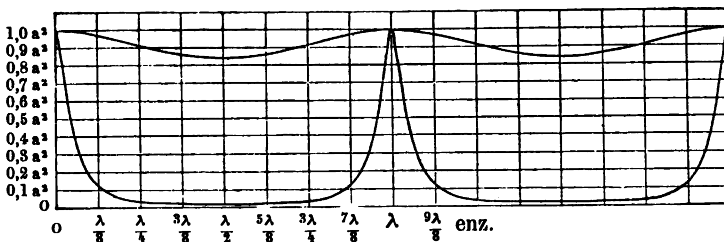
---

1) *Wüllner* l. c. *Fabry* en *Pérot* l. c.

lengte van de gebruikte lichtsoort, en Δ het wegverschil (dus 2 maal de dikte van de luchtlaag). Bij gegeven f en λ hangt dus het verschijnsel af van Δ. Berekenen wij nu eens de waarde van I voor verschillende waarden van Δ, zoowel in 't geval dat f = 0,042, als in het geval, dat f = 0,750, dan krijgen wij:

	f = 0,042	f = 0,750
$\Delta = 0$	I = a^2	I = a^2
$\frac{\lambda}{8}$	0,974 a^2	0,125 a^2
$\frac{\lambda}{4}$	0,916 a^2	0,040 a^2
$\frac{3\lambda}{8}$	0,865 a^2	0,024 a^2
$\frac{\lambda}{2}$	0,845 a^2	0,020 a^2
$\frac{5\lambda}{8}$	0,865 a^2	0,024 a^2
$\frac{3\lambda}{4}$	0,916 a^2	0,040 a^2
$\frac{7\lambda}{8}$	0,974 a^2	0,125 a^2
λ	a^2	a^2

Brengen wij de door deze waarden gegeven lichtverdeeling in teekening, — de bovenste kromme stelt de lichtverdeeling bij onverzilverde, de onderste bij verzilverde glasplaatjes voor, — dan springt direct het



eigenaardige van het verschijnsel bij verzilverde glasplaatjes in het oog. De maxima zijn even sterk [1]); de minima zijn veel donkerder dan bij onverzilverde glasplaatjes. Bovendien is de overgang van licht op donker veel plotselinger. Terwijl wij dus bij het interferentiebeeld met onverzilverde glasplaten een gelijkmatige afwisseling vinden van donker en licht, zonder veel verschil in intensiteit, en langzaam in elkander overgaande, zoo vinden wij bij verzilvering een bijna zwart veld, doorsneden door smalle scherp begrensde lichtlijnen.

Hoe grooter men f maakt, d. w. z. hoe zwaarder men verzilvert, des te smaller zullen de lichtlijnen worden. Er is echter een grens: met $f = 0{,}9$ bereikt men het reflecteerend vermogen van massief zilver. Het absorbeerend vermogen, (zonder hetwelk de maximum intensiteit gelijk zou zijn aan de intensiteit van het invallende licht,) is dan zóó toegenomen, dat de zilverlagen in 't geheel geen licht meer doorlaten. Empirisch moet men dus de dikte van de zilverlaag zoeken, welke men nog gebruiken kan, in het oog houdende, dat *vier* lagen zilver nog voldoende licht moeten doorlaten. Waarom, zal later blijken.

De aangehaalde intensiteits-formule geeft aan, dat een maximum gevonden wordt, als het wegverschil een geheel aantal golflengten bedraagt, dus als de dikte van

---

1) In de bovenstaande beschouwing is geen rekening gehouden met de absorptie van het licht door de zilverlagen. Deze zal ten gevolge hebben, dat de maxima minder sterk zijn.

de luchtlaag gelijk is aan een geheel aantal halve golflengten van de gebruikte lichtsoort.

Laat men licht van bijv. 2 verschillende golflengten op de zwak wigvormige „verzilverde luchtlaag" vallen [1]), dan zal elke lichtsoort zijn stelsel lijnen geven. Het kan voorkomen, dat lijnen van het eene stelsel samenvallen met lijnen van het andere stelsel. De voorwaarde voor dergelijke coïncidenties is gemakkelijk te berekenen.

Gebruikt men licht van de golflengten λ_1 en λ_2, dan geeft de lichtsoort met golflengte λ_1 lichte lijnen daar, waar de verzilverde luchtlaag een dikte heeft $n_1\frac{\lambda_1}{2}$ (n_1 = geheel getal). De lichtsoort λ_2 geeft lichte lijnen op die plaatsen, welke een dikte $n_2\frac{\lambda_2}{2}$ (n_2 = geheel getal) hebben. Beschouwt men de plaats, waar de luchtlaag een dikte 0 heeft, dan geven beide stelsels hier een lichtlijn en heeft men een coïncidentie. Wij noemen dit de 0[de] coïncidentie. De eerstvolgende samenvalling zal plaatsvinden als de dikte der luchtlaag

$$e = n_1\frac{\lambda_1}{2} = (n_1+1)\frac{\lambda_2}{2} \qquad \lambda_2 < \lambda_1$$

of: $$n_1(\lambda_1 - \lambda_2) = \lambda_2$$

en dus: $$n_1 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$$

Zij nu bijv.: $\lambda_1 = 0^{\mu},67081$ (de roode lithiumlijn) en

1) In navolging van *Fabry* en *Pérot* zullen wij gebruik maken van de uitdrukking: „verzilverde luchtlaag". (lame mince d'air argentée).

$\lambda_2 = 0^{\mu},58902$ (de D_2-lijn van natriumlicht) dan wordt n_1, het rangcijfer der samenvallende lithiumlijn, gelijk aan 7,210. Dit wil dus zeggen, dat de lithiumlijn van orde 7,210 zal samenvallen met de D_2-lijn van orde 8,210. Maar deze lijnen bestaan niet: wèl de lithiumlijn van orde 7, en de D_2-lijn van orde 8. Wij hebben voor de 1e coïncidentie dus een gedeeltelijke; de lijnen zullen elkander niet volkomen bedekken.

Maken wij een tabel voor eenige coïncidenties:

Nummer der coïncidentie.	Orde van de lithiumlijn.	Orde van de D_2-lijn.
1	7,210	8,210
2	14,420	16,420
3	21,631	24,631
4	28,841	32,841
5	36,051	41,051
6	43,261	49,261
7	50,471	57,471
8	57,681	65,681
9	64,892	73,892
10	72,102	82,102
11	79,312	90,312
12	86,522	98,522
13	93,732	106,732
14	101,942	115,942
15	108,153	123,153
24	173,044	197,044
38	273,986	311,986
43	310,037	353,037 enz.

Wij zien hieruit, dat de 36e lithium-lijn zeer mooi zal samenvallen met de 41e D_2-lijn. Evenzoo achtereenvolgens de 102e, de 173e, de 274e en de 310e lithiumlijn met de 116e, de 197e, de 312e en de 353e D_2-lijn.

Eveneens zal de D-lijn van het natriumspectrum alleen coïncidenties geven. Deze bestaat toch uit de lijn: $D_1 = 0,^{\mu}5896154$ en $D_2 = 0,^{\mu}5890182$. De 986e D_1-lijn zal dus samentreffen met de 987e D_2-lijn. De 493e D_1-lijn zal volkomen tusschen de 493e en 494e D_2-lijn inliggen. Evengoed als men met 2 golflengten werken kan, is het mogelijk 3 of meer te combineeren. Het kwikspectrum, dat onder zijn vele lijnen 3 sterk sprekende bezit, — een gele dubbellijn, een groene en een violette lijn, — maakt het verschijnsel schitterend. De 3 stelsels, over elkander vallende, geven door hun coïncidenties de prachtigste kleurschakeeringen. Later zal ik in 't bijzonder op dit kwikspectrum, dat zijn goede diensten moet bewijzen, terugkomen.

Een tweede interferentieverschijnsel kan men te voorschijn brengen, door middel van twee verzilverde luchtlagen, (dus twee stel glasplaatjes, waarvan de naar elkander toegekeerde oppervlakken verzilverd zijn). En juist dit verschijnsel wordt bij onzen dilatometer toegepast, daar het een gemakkelijk hulpmiddel is om snel kleine verplaatsingen te meten. Het denkbeeld, interferenties op te wekken door middel van 2 dunne luchtlaagjes was niet nieuw. Reeds *Brewster* [1]), en later

---

1) *Brewster*. Edinb. Trans. t. VII pag. 435. (1817).

Meslin [1]) hebben dit interferentieverschijnsel bestudeerd. Maar *Fabry* en *Pérot* hebben ook hierbij de glasplaatjes vervangen door verzilverde glasplaatjes, en met goed gevolg; want laat men door een dergelijk stel verzilverde luchtlagen wit licht gaan, dan neemt men in sommige, nader te bespreken gevallen, een prachtig kleurenbeeld waar. Dit hebben noch *Brewster*, noch *Meslin* kunnen waarnemen, daar het witte licht bij onverzilverde glasplaatjes alle kleuren uitwischt.

Plaatst men twee zwak wigvormige verzilverde luchtlagen voor elkander, laat men een evenwijdigen bundel wit licht doorgaan, bijv.: electrisch koolspitsenlicht, en draagt men zorg, dat de luchtlagen in beide wiggen op de plaats waar het licht doorgaat, ongeveer dezelfde dikte hebben, dan treedt het genoemde interferentiebeeld op. Men ziet een witte lijn, en daarnaast aan weerszijden lijnen, gekleurd in de spectraal kleuren. *Fabry* en *Pérot* spreken van „franges de superposition", omdat zij, om het verschijnsel zoo goed mogelijk waar te nemen, het beeld van de eene verzilverde luchtlaag op de tweede projecteeren en dus als het ware de in beide luchtlagen opgewekte interferenties superponeeren.

Hoe is dit verschijnsel nu te verklaren? Een lichtbundel zal door de tweede begrenzing van de eerste verzilverde luchtlaag gedeeltelijk worden teruggekaatst en gedeeltelijk doorgelaten. De gereflecteerde, en dus zwakker geworden bundel, zal gedeeltelijk teruggekaatst worden tegen

1) *Meslin*. Journal de Phys. 3e Série. t. III. pag. 489 (1894).

het eerste grensvlak en daarna ook weer een doorgaanden bundel geven, die zich bij den eersten voegt, maar veel zwakker is. Elke lichtbundel, welke doorgegaan is, en de tweede verzilverde luchtlaag bereikt, zal ook hier lichtbundels doen ontstaan, welke zich van elkander onderscheiden door verschillend aantal terugkaatsingen. Het ontelbaar aantal bundels, dat op deze wijze ontstaat, is te splitsen in groepen van telkens twee bundels met gelijke intensiteit. De bundel toch, welke tweemaal in de eerste verzilverde luchtlaag teruggekaatst is en door de tweede zonder terugkaatsing doorgaat, zal dezelfde intensiteit bezitten als de bundel, welke recht door de eerste luchtlaag is gegaan en tweemaal in de tweede luchtlaag wordt gereflecteerd. In het algemeen behoort, wat intensiteit betreft, de bundel met $2n$ terugkaatsingen in de eerste luchtlaag en $2m$ terugkaatsingen in de tweede bij dien bundel, welke $2\,(n-p)$ terugkaatsingen in de eerste luchtlaag heeft ondergaan en $2\,(m+p)$ in de tweede luchtlaag. Maar nu kunnen twee bij elkander behoorende bundels, hoewel zij evenveel malen zijn teruggekaatst, een wegverschil hebben gekregen. Is de dikte van de luchtlaag bij het eerste stel verzilverde glasplaatjes op de plaats, waar de bundel doorgaat, e, en bij de tweede verzilverde luchtlaag e_1, dan is het wegverschil in het algemeen: $2n\,e + 2m\,e_1 - 2\,(n-p)\,e - 2\,(m+p)\,e_1 = 2\,(e-e_1)\,p$.

Is dit wegverschil gelijk aan een geheel aantal golflengten van een bepaalde lichtsoort, dan zullen de twee bundels elkaar versterken; anders elkaar verzwakken

of totaal uitdooven. Er worden dus gekleurde strepen zichtbaar. Alleen als het wegverschil 0 is, dat is dus, als $e = e_1$, zullen voor *elke* lichtsoort, welke in het invallende licht voorkomt, de bundels samenwerken: men ziet een witte lijn, indien het invallende licht wit is. Alle bij elkander behoorende bundels zullen tot het verschijnsel medewerken, maar naarmate zij hun ontstaan te danken hebben aan meer terugkaatsingen, zullen zij, wegens hunne geringere intensiteit, minder invloed hebben. Resumeerende, vinden wij, als de dikten der twee verzilverde luchtlagen op een bepaalde plaats gelijk zijn, een witte lijn door gekleurde banden geflankeerd. Omgekeerd, vertoont zich dit interferentiebeeld, dan mogen wij besluiten, dat op de plaats van de witte lijn, de dikten gelijk zijn.

Maar ook nog in sommige andere gevallen is een interferentiebeeld waar te nemen. Zij de dikte in de eene luchtlaag e, en in de tweede juist 2 e, dan zal bijv. de bundel, die viermaal teruggekaatst is in de eerste verzilverde luchtlaag en door de tweede recht doorging, denzelfden weg afgelegd hebben als de bundel, welke recht door de eerste luchtlaag ging, maar tweemaal werd gereflecteerd in de tweede verzilverde luchtlaag. Wij zouden weer een witte lijn krijgen. En op een plaats waar de dikte der eerste luchtlaag e was en die der tweede slechts weinig van 2 e verschilde, zouden weer voor sommige lichtsoorten uitdoovingen plaats vinden, dus kleuren zichtbaar worden. Dit *is* ook het geval; maar daar deze interferenties alleen kunnen voorkomen

bij ongelijk aantal reflecties en dus de interfereerende bundels met ongelijke intensiteiten optreden, verspreidt zich een massa wit licht over het kleurenbeeld, en wordt dit bleek en smal en moeilijk waar te nemen. Telkens als e en e_1 zich verhouden als 1 : 3, 2 : 3, 1 : 4 enz. zal het verschijnsel zichtbaar zijn, maar des te zwakker, naarmate het aantal terugkaatsingen grooter en voor de beide bundels meer verschillend is.

Het geval, waarbij de dikten der verzilverde luchtlagen gelijk zijn, geeft een interferentiebeeld, dat van de overige terstond te onderkennen is door het schitterende van zijn lijnen en de grootere uitgestrektheid. Met behulp van dit interferentiebeeld worden bij onzen dilatometer de metingen verricht en daarom moest over deze verschijnselen wat uitvoeriger gesproken worden. Evenmin echter als bij het eenvoudige geval van één verzilverde luchtlaag zal ik hier de theorie overnemen. Deze kan gevonden worden in de verhandeling van *Fabry* en *Pérot:* „Sur les franges des lames minces argentées." l. c.

Nog eenige opmerkingen over dit onderwerp moeten volgen: 1°. Het werken met evenwijdig licht is voor het verschijnsel het meest gunstig. Daarom zou één lens tusschen de verzilverde luchtlagen niet voldoende zijn, en gebruikt men er twee met gemeenschappelijk brandpunt.

2°. Op de vorige bladzijden is telkens gesproken van terugkaatsen op de zilverlagen, zonder meer, en daarbij aangenomen, dat een lichte lijn optreedt als de dikte der verzilverde luchtlaag gelijk is aan $\frac{\lambda}{2}$ van de gebe-

zigde lichtsoort. Dit is niet geheel juist. Reflecteert een lichtstraal van golflengte λ op een of ander oppervlak, dan zal er tusschen den invallenden en den teruggekaatsten straal een phaseverschil ontstaan zijn. Is bij terugkaatsing vanuit lucht op glas of vanuit glas op lucht dit phaseverschil juist π of 0, bij metalen is dit een breuk. Men kan dit beschouwen, alsof men in plaats van twee reflecteerende zilverlagen op een afstand e van elkander, twee glaslagen heeft op een afstand: $e + \varepsilon + \varepsilon_1$. Zijn de zilverlagen volkomen gelijk, dan wordt dit $e + 2\varepsilon$. Wij kunnen dus een onderscheid maken tusschen een werkelijke dikte e van de luchtlaag en een optische dikte $e + 2\varepsilon$. Zoo zal dus het optreden van een lichte lijn van een lichtsoort λ, wijzen op een optische dikte der laag $\frac{\lambda}{2}$, doch wij zullen dan een werkelijke dikte van de luchtlaag $\frac{\lambda}{2} - 2\varepsilon$ hebben. Elke volgens deze methode gemeten dikte wordt dus 2ε te groot gevonden. De waarde van ε hangt af van de dikte en den aard der zilverlagen, misschien ook van de golflengte. Echter heeft men voor rood en violet licht geen verschil kunnen waarnemen in de waarden van ε. De verandering van ε met de golflengte is dus zóó gering, dat zij buiten beschouwing kan blijven. Anders gesteld is het met de waarde zelf van ε. ε is een grootheid van eenige tientallen mikromikrons, wel klein dus, doch niet altijd te veronachtzamen in vergelijking met de grootheid e. Bij de metingen, welke later behandeld zullen worden, behoeven wij er echter geen rekening mede te houden,

omdat het bedrag 2 ε telkens geëlimineerd wordt. Onze metingen betreffen afstandsveranderingen; op deze zal het geen invloed hebben, als men de afstanden zelf steeds 2 ε te groot schat. Wordt er later gesproken van een bepaalde dikte, dan wordt steeds bedoeld een optische dikte. Volledigheidshalve mocht deze opmerking niet achterwege gelaten worden.

3°. Het aanbrengen van de voor het onderzoek geschikte zilverlagen op glasplaten eischt bijzondere zorg. Mijne ervaringen daaromtrent wil ik hier mededeelen. Daar een achttal glasoppervlakten van 20 bij 2,5 cM. gelijkmatig verzilverd moesten worden, zoo mogelijk alle tegelijk, terwijl de lagen niet te dun en niet te dik mochten zijn, waren verschillende vóórproeven noodig om te kunnen beoordeelen, welke methode de beste resultaten gaf en hoe de gekozen methode moest toegepast worden. Zooals bekend is, bestaan er vele voorschriften, volgens welke men een zilverlaag op glas kan aanbrengen. Alle komen hierop neer, dat uit zilverzouten metallisch zilver wordt neergeslagen. Elke methode heeft echter zijne voor- en nadeelen. Niet alle geven homogene lagen, bij sommige is de samenhang tusschen het zilver en het glas zeer los; allerlei tinten kunnen optreden, terwijl de eene methode slechts voor zeer dunne, de andere uitsluitend voor zeer dikke lagen geschikt is. Een vrij volledig overzicht wordt gegeven door *Lüdtke* [1]) in zijn dissertatie. Na met allerlei wij-

1) *H. Lüdtke.* Inaug. Diss. Ueber die Eigenschaften verschiedener Silbermodificationen. Greifswald. (1893).

zigingen de meest aanbevolen methoden beproefd te hebben, verkreeg ik de beste resultaten met de methode van *Martin*, zooals deze gewijzigd is door *Vincent* [1]). De voorschriften van *Böttger* [2]) zijn weliswaar het eenvoudigst, doch gelijkmatige dunne spiegels kon ik er niet mede verkrijgen. Voor een dikke laag, die desnoods gepolijst kan worden, (bijv.: voor galvanometer-spiegeltjes, enz.) is deze methode wel de meest bruikbare. Bij dunne lagen heeft men last van vlekken en gaatjes in de zilverlaag. *Vincent*, die bij zijn proeven uiterst homogene en overal even dikke zilverlagen noodig had, ging als volgt te werk. De te verzilveren glasplaten worden onder water, met de van vet bevrijde vingers goed afgewreven en afgespoeld; daarna met gedistilleerd water behandeld en vervolgens ongeveer 3 dagen in matig geconcentreerde soda-oplossing gelegd, de te verzilveren zijde naar onder. Natuurlijk laat men de einden steunen, zoodat de onderzijde vrij blijft. De glasplaten worden nu in gedistilleerd water, dat door zuiver salpeterzuur zuur gemaakt is, afgespoeld. Alle soda moet goed verwijderd worden en vervolgens laat men de platen weer 3 dagen liggen in sterk salpeterzuur. Zijn zij dan eenige malen in gedistilleerd water goed afgespoeld, dan kan men ze onder water bewaren, mits men zorge, dat geen stof etc. in het gedistilleerde water kan vallen.

Voor het verzilveren heeft men 4 vloeistoffen noodig:

---

1) *M. G. Vincent.* Ann. de chim. et de Phys. Avril. (1900). T XIX. „Sur l'épaisseur des couches de passage".

2) Cf. *Kohlrausch.* Leitfaden der Prakt. Phys. 7e Auflage, pag. 207.

I. Oplossing van 100 gram zuiver zilvernitraat in 1000 gram gedist. water.

II. Zuivere, matig sterke ammonia liquida.

III. Oplossing van 40 gram natriumhydroxyde in 1000 gram gedist. water.

IV. Oplossing van 100 gram witte kandijsuiker in 500 gram gedist. water. Bij deze oplossing voegt men 3 à 4 c.c.M. zuiver sterk salpeterzuur en kookt 20 minuten. Na afkoeling moet het overtollige zuur bijna geneutraliseerd worden met natriumhydroxyde; de vloeistof moet echter zwak zuur blijven. Daarna voegt men 200 c.c.M. absolute alcohol toe en verdunt verder tot 2000 c.c.M. Nu laat men 24 uren bezinken en decanteert of hevelt het heldere gedeelte af.

Deze vier vloeistoffen kunnen alle bewaard worden, mits men zorgt voor zuivere, goed sluitende stopflesschen.

Bij 120 c.c.M. van vloeistof I, giet men druppelsgewijs onder omroeren zóóveel van vloeistof II (15 à 20 c.c.M.), dat het gevormde neerslag weer oplost. [1]) Daarna wordt 200 c.c.M. van III toegevoegd, hetgeen een zwaar neerslag doet ontstaan. Nu verdunt men tot 500 c.c.M. en laat bezinken gedurende 24 uren. De volkomen heldere vloeistof wordt afgeschonken, goed afgesloten en in het donker bewaard. Zij blijft enkele dagen goed, doch niet langer dan ongeveer 8 dagen. Deze vloeistof wordt voor

---

1) *Vincent* voegt erbij: Ammonialucht mag niet te bespeuren zijn. Dit is mij nooit gelukt. Vóór dat alle neerslag opgelost was, kon men reeds de ammonialucht waarnemen.

het verzilveren gebruikt, waarbij IV als reductiemiddel moet dienen.

De verzilveringsoplossing kan men met gedistilleerd water verdunnen om invloed uit te oefenen op de snelheid van afzetting van het zilver, en dus op de dikte der laag. Van IV neemt men steeds $\frac{1}{8}$ van het volume der onverdunde verzilveringsvloeistof. Deze twee worden op het laatste oogenblik vermengd en goed omgeroerd, en snel de te verzilveren glasplaten er ingebracht. De vloeistof wordt geel, bruin en eindelijk zwart en ondoorschijnend. Aan het uiterlijk der wanden van het vat en aan den duur der onderdompeling, door vóórproeven te bepalen, kan men beoordeelen hoever het afzettingsproces is voortgegaan. Het is echter niet onverschillig, in welken stand de glasplaten zich in de vloeistof bevinden. Men zou ze met den te verzilveren kant naar boven er in kunnen leggen. Dit is verreweg het eenvoudigst, geeft snel een dikke zilverlaag, doch is absoluut verkeerd; met het zilver zet zich een geel bezinksel af op de plaat, hetgeen ten gevolge heeft, dat de laag niet homogeen en zeer los is. Een tweede methode is, de platen in de vloeistof op te hangen met de te verzilveren zijde naar onder, (wat bij kleine spiegeltjes zeer handig is,) slechts even met dit vlak onder het niveau van de vloeistof. Deze methode levert bij het *Böttger*'sche voorschrift, en mogelijk ook bij andere, goede resultaten op. Bij de *Martin-Vincent*'sche methode verkreeg ik echter steeds vlammen en strepen op de zilverlaag. Daarom plaatste ik ze, evenals *Vincent* deed,

loodrecht in de vloeistof, of beter, de te verzilveren zijde een weinig naar den bodem latende overhellen. [1]) Het eenvoudigst doet met dit door de platen in passende klemmen, (ik gebruikte eboniet met nieuwzilveren veeren), in den verzilveringsbak te zetten, of, als zij niet te groot en vrij dik zijn, ze op glasstaven op den bodem van den bak te plaatsen en daarna de bak zelf te laten hellen. De vloeistof moet van tijd tot tijd omgeroerd worden om versche oplossing voor de glasplaten te brengen. In 7 tot 11 minuten is de verzilvering afgeloopen. Daarna worden de glasplaten vlug uit de vloeistof genomen en onder een zachte straal gedistilleerd water goed afgespoeld. In afwijking en tegen de meening van anderen overgoot ik vervolgens de spiegels met kokend water en droogde ze (stofvrij) liefst in een luchtstroom. Koud water droogt te langzaam en geeft watervlekken. Na het drogen mag men de zilverlagen niet meer bevochtigen. Deze werkwijze is vrij langdurig en eischt veel zorg, doch loont de moeite, daar ze prachtige resultaten oplevert.

---

1) Eerst was ik hiervan afgeweken, omdat de wijze, waarop *Vincent* het deed, moeilijkheden gaf. Deze kleefde de glasplaten met den rug tegen een grootere glasplaat, welke slechts dienst deed om de te verzilveren platen beter te kunnen hanteeren. De moeilijkheid was nu, een natte glasplaat, die men niet met de vingers mocht aanraken, noch afdrogen, aan de steunplaat te kleven, en dan nog wel met een kleefstof, die de verzilveringsvloeistof niet mocht verontreinigen. Steeds vielen bij mij de platen van de steunplaat af.

Door de verdunning en de temperatuur [1]) van het bad te varieeren kan men elke gewenschte dikte krijgen, van ongeveer 20$^{\mu}$ tot 170$^{\mu\mu}$ (*Vincent*).

Voor mijn doel was het het meest geschikt, de vloeistof met 2 maal de hoeveelheid water te verdunnen en de platen er 8 à 9 minuten in te laten. Dan waren de zilverlagen zóó, dat vier lagen nog het electrische koolspitsenlicht doorlieten. Alle platen werden tegelijk verzilverd om zekerder te zijn van gelijkheid der lagen.

1) Van 10° tot 15° C.



HOOFDSTUK III.

Thermometrie.

Waar uitzettingen gemeten worden bij verschillende temperaturen, bekleedt de temperatuurbepaling een voorname plaats. En wanneer temperaturen in aanmerking komen, buiten het bereik der gewone kwik-thermometers liggende, wordt bovendien bijzondere zorg vereischt, daar men tot omwegen zijn toevlucht moet nemen. De weg was echter gebaand, want het thermo-element heeft reeds meermalen bij hooge temperaturen goede diensten bewezen. Zooals later blijken zal, liet de ruimte, waar de temperatuur bepaald moest worden, niet toe groote warmtemeters te gebruiken, en dwong ook dit tot het gebruik van het thermo-element. Onder de thermoelementen was de keuze klein, daar het element van *Le Châtelier* [1]) bijna het eenige bruikbare was. De hooge temperaturen eischen metalen der platinagroep, waarvan de volgende combinaties als thermo-element onderzocht zijn door *Holborn* en *Day* [2]):

1) *Le Châtelier*. Journ. de Phys. théor. et appl. 2me Série. t. VI p. 23.

2) *Holborn* en *Day*. Ann. der Phys. 4e Serie. Bd. II. pag. 519. (1900)

Pt. — 90 Pt. 10 Rh.
Pt. — 90 Pt. 10 Ru.
Pt. — Ir.
Pt. — Rh.

Het eerste is bekend als het „normaal element" van de Physikalische Reichsanstalt te Berlijn en het gemakkelijkst in den handel te verkrijgen. Bovendien hebben de onderzoekingen van *Le Châtelier*, *Barus*, *Holborn* en *Wien*, en *Holborn* en *Day* het doen kennen als regelmatig en betrouwbaar in zijn aanwijzingen, vrij van de afwijkingen, die de andere metalen van de platinagroep wel eens kunnen vertoonen.

De draden van het gebruikte thermo-element zijn 60 c. M. lang, en hebben een doorsnede van 0,25 mM. Een thermo-element, bestaande uit draden van 0,1 mM. doorsnede, werd eerst gebruikt, doch smolt spoedig af en gaf afwijkende, waarschijnlijk aan mindere homogeniteit toe te schrijven, resultaten. Wel is waar eischt de Phys. Reichsanstalt voor een te ijken thermo-element draden van 0,6 mM. dikte, maar de resultaten, met de 0,25 mM. dikke draden verkregen, waren zeer nauwkeurig. Bij ons thermo-element gaf elke graad temperatuursverhooging een vermeerdering van electromotorisch vermogen van 7,5 à 9,5 mikrovolt: bij hoogere temperaturen iets meer dan bij lagere.

Elk thermo-element dient echter geijkt te worden. Men moet het verband kennen tusschen electromotorisch vermogen en temperatuur. Het smeltpunt van ijs en het kookpunt van water, de vaste punten voor den

kwikthermometer zijn natuurlijk niet voldoende en nieuwe vaste punten moeten aangenomen worden voor de hoogere temperaturen. Hiervoor dienen de smelt- en stolpunten der metalen. En al zijn van alle metalen deze punten nog niet juist bekend, toch zijn er vele, waarvan men het smeltpunt, op eenige onderdeelen van een graad na, nauwkeurig kent.

In de volgende tabel heb ik van een aantal metalen de smeltpunten verzameld, zooals zij door verschillende onderzoekers gevonden zijn, om te doen zien, dat de cijfers meer en meer tot een voor elk metaal vaste waarde naderen, en om de smeltpunten te motiveeren, welke door mij bij het ijken van het thermo-element zijn aangenomen.

	Prinsep. 1828	Pouillet. 1836	Person. 1848	Rudberg. 1848	Silberman en Jacquelain. 1853	Becquerel. 1863	Violle. 1879	Ehrhardt en Schertel. 1879	
Tin. . .	—	—	232°,7	228°,5	236°	—	—	—	
Bismuth .	—	—	266°,8	—	266°	—	—	—	
Cadmium	—	—	321°,0	320°,0	—	—	—	—	
Lood . .	—	—	326°,2	326°,0	321°	—	—	—	
Zink . .	—	—	415°,3	—	—	—	—	—	
Antimon^m^.	—	—	—	—	630°	—	—	—	
Alumin^m^.	—	—	—	—	—	—	—	—	
Zilver . .	999°	1000°	—	—	—	960°	954°	954°	
Goud . .	—	1200°	—	—	—	1092°	1045°	1075°	1
Koper .	—	—	—	—	—	—	1054°	—	1
Nikkel .	—	—	—	—	—	—	—	—	
Palladium	—	—	—	—	—	—	1500°	—	
Platina .	—	—	—	—	—	—	1775°	—	
Iridium .	—	—	—	—	—	—	1950°	—	

Ontleend aan: *Violle*. C. R. 85. C. R. 89.
Griffith. Phil. Trans. Vol. 182.
Holborn en *Wien*. W. A. [3] 47 (1892) pag. 121.
Holborn en *Day*. W. A. [3] 68 (1899) pag. 817. W. A. [4] 2 (1900) p
Heycock en *Neville*. Journ. Ch. Soc. (1895) pag. 160 en 1024.
Berthelot. C. R. 126 pag. 473 (1898).
Callendar. Phil. Mag. [5] 48 (1899) pag. 519.
Barus. Rapp. du Congr. Intern. de Phys. Paris (1900) „Les pr
Holborn en *Day*. Drude's Ann. der Phys. Bd. IV. 1 (1901) pag

Ledebur. 1881	Holborn. 1890	Callendar en Griffith. 1891	Holborn en Wien. 1892	Callendar. 1892	Heycock en Neville. 1895	Berthelot. 1898	Holborn en Day. 1900	Holborn en Day. 1901	Aangenomen.
—	—	231°,7	—	—	231°,9	—	—	—	—
—	—	269°,2	—	—	—	—	—	—	—
—	—	320°,7	—	—	320°,7	—	321°,7	—	321°
—	—	327°,7	—	—	327°,7	—	326°,9	—	327°
—	—	417°,6	—	—	419°,0	—	419°,0	—	419°
—	—	—	—	—	629°,5	—	630°,6	—	630°
—	—	—	—	—	654°,5	—	657°,3	—	—
960°	955°	—	971°	961°	a 955°,0 b 960°,7	962°,0	a 955°,0 b 961°,0	—	a 955°
—	—	—	1072°	1061°	1061°,7	1064°,0	1064°,0	1063°,9	1064°
1100°	1065°	—	1082°	—	b 1080°,5	—	a 1064°,9 b 1084°,1	—	a 1065°
—	—	—	1484°	—	—	—	—	—	—
—	—	—	1587°	—	—	—	—	—	—
—	—	—	1780°	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

a = aan de lucht.
b = afgesloten van de lucht.

e la pyrométrie" pag. 150 en „La note du traducteur D. Berthelot pag. 176.

In de tabel heb ik slechts die metalen opgenomen welke voor mijne bepalingen waarde hadden. Daarbij heb ik echter alle gelijktijdig gedane waarnemingen van denzelfden onderzoeker gegeven, opdat men zich een oordeel zal kunnen vormen over de waarde dier waarnemingen. Bijv.: *Holborn* en *Wien* (1892) geven voor zilver aan 971°, terwijl door mij op grond van verschillende overwegingen 955° is aangenomen. De tabel doet zien, dat ook de overige waarden door *Holborn* en *Wien* (1892) verkregen, bijna alle hooger dan de gemiddelde zijn.

De metalen [1]), welke mij gediend hebben, zijn Cadmium: 321°, Lood: 327°, Zink: 419°, Antimonium: 630°, Zilver: 955°, Goud: 1064° en Koper: 1065°.

Het thermo-element werd als volgt ingericht. De Platina- en de Platina-Rhodiumdraad werden in de lichtgas-zuurstofvlam stevig, maar met zoo klein mogelijken metaalkorrel aan elkander gesmolten. Aan de andere uiteinden werden dikke koperdraden gesoldeerd en deze soldeerplaatsen werden in een bad met paraffine-olie gebracht. De paraffine-olie was omgeven door een waterbad en door middel van een thermometer kon de temperatuur der olie, en dus die van de soldeerplaatsen afgelezen worden. Hun temperatuur schommelde zeer weinig,

1) De metalen waren volkomen zuiver. Alle uit de fabriek van Merck, behalve het zilver, dat door Heraeus in Hanau geleverd was.

Ook mag ik niet nalaten mijn hartelijken dank te brengen aan *Dr. C. Hoitsema* ('s Rijks Munt), die bereidwillig volkomen zuiver goud en zilver ter mijner beschikking stelde.

niet merkbaar gedurende één werktijd. Het plaatsen van deze soldeerplaatsen in smeltend ijs, dus op 0°, zou wegens den langen duur der proeven, zoowel bij deze voorproeven als later, groote bezwaren hebben gehad; bovendien is het onnoodig [1]), mits men maar de temperatuur der koude soldeerplaatsen in rekening brengt. Verder liep de draad door een weerstandsbank naar den galvanometer. Men had dus slechts het thermoelement in het gesmolten metaal te dompelen, telkens stol- en smeltpunten waar te nemen, en de aflezingen te noteeren. Echter kwamen nu de bezwaren. Een platinadraad en een platina-rhodiumdraad, gebracht in een gesmolten metaal, zelfs in zink of cadmium, dus bij 3 à 400°, smelt af, indien hij niet beschut is! De pyrometers, welke door *Heraeus* in *Hanau* geleverd worden, worden door *Hecht*'sche Röhre beschermd. Ook *Holborn* en *Day* omgaven bij hun smeltproeven het thermoelement met sterke porceleinen buizen. Doch de afmetingen van deze beschuttingen waren voor mijn doel te groot en nergens mocht het mij gelukken fijne porceleinen buisjes te vinden, voor het doel geschikt. Wèl dunne buisjes, aan beide einden open, doch hiermede was ik niet geholpen. Daarom werd geprobeerd, als het thermoelement aaneengesmolten was, een beschutting er om heen te bakken van een aardewerkachtige stof. Na verschillende mislukte pogingen werd een bruikbare methode gevonden. De draden werden door dunne pijpaarden

---

1) *Holborn* en *Wien*. W. A. 56. pag. 396. (1895).

buisjes (de stelen van kleine pijpjes, die in de pijpenfabrieken te Gouda als reclameartikel vervaardigd worden,) van ongeveer 2 mM. uitwendige doorsnede, gestoken, de twee draden aan elkander gesmolten, en de buisjes, die het dichtst bij deze soldeerplaats waren, met een nikkel- of platinadraadje tegen elkander gebonden, voor grootere stevigheid. Uit de openingen dezer twee naast elkander liggende buisjes, stak het thermo-element dus als een lisje uit. Dit lisje werd nu met een breiachtig papje, bestaande uit pijpaarde, wat water en een zeer klein beetje gewone bruine stroop als bindmiddel, bedekt. Door middel van een penseel was het lusje volkomen hiermede te omhullen. Als het eenigszins droog was, werd een nieuw laagje erop gebracht, enz. tot een $\frac{1}{2}$ à 1 m.M. dikke laag het thermo-element beschutte. Dit liet ik 24 uren drogen, verwarmde zacht, daarna sterker en ten slotte werd het in de blaasvlam witgloeiend gemaakt. Dan was er een hard buisje gebakken, dat aan de gesmolten metalen weerstand bood, het thermo-element voor afsmelten behoedde en zeer kleine afmetingen bezat. Vooral in 't begin moet men goed laten drogen en steeds met zeer zacht verwarmen beginnen, daar sporen van water het pijpaardelaagje doen barsten en springen. Wel zuigt deze pijpaardebedekking aan de buitenzijde een weinig van het gesmolten metaal in; doch het was een geringe moeite bij elk nieuw metaal een nieuwe beschutting te bakken.

Het smelten der metalen had ook zijn moeilijkheden. Eerst werd dit beproefd in stukken uitgeholde houts-

kool, graphiet of krijt, door middel van de blaasvlam. Bij de metalen met lagere smeltpunten gaf dit niet bepaald ongunstige resultaten. Bij hoogere temperaturen ging het niet en had men het smelten en stollen niet voldoende in de hand. Spoedig werd daarom overgegaan tot de eenige goede methode, de electrische verhitting. Kokers van asbest of buizen van kaoline, (waarin de smeltkroesjes geplaatst werden), omwonden met nikkeldraad gaven uitstekende ovens, waarin de verlangde temperatuur bereikbaar was. Alleen bij temperaturen boven 1000°, voor het smelten van koper en goud, was het wenschelijk de windingen van platinadraad te maken, daar nikkeldraad bij die hooge temperatuur eigenaardige verbindingen vormde met het asbest of de kaoline en ten gevolge daarvan doorbrandde.

Door langzaam versterken en verzwakken van den electrischen stroom, kon gelijkmatig en langzaam smelten en stollen verkregen worden, zoodat het constant blijven van de temperatuur tijdens het smelten of het stollen, en dus het stilstaan van de galvanometernaald uitstekend waar te nemen was. Bij sommige metalen bleef de galvanometernaald zelfs tot 7 minuten toe rustig. Tijd voor goede aflezing was dus ruimschoots voorhanden. Elk smeltpunt en stolpunt werd herhaaldelijk waargenomen, ook met nieuw metaal en nieuw aaneengesmolten thermo-elementdraden. Mits goed aaneengesmolten, gaf een nieuwe soldeerplaats geen afwijkingen. In de volgende tabel geef ik de gevonden waarden. De tweede kolom geeft de temperatuursverschillen

van de aangenomen smeltpunten met de temperaturen, die bij de verschillende bepalingen de tweede soldeerplaats had; in de derde en vierde kolom vindt men de gevonden en berekende waarden der electromotorische kracht, in de vijfde de verschillen van deze in percenten uitgedrukt. De berekening geschiedde uit de vergelijking van de kromme lijn, die zich zoo goed mogelijk bij alle waarnemingen aansloot. Door middel van de methode der kleinste kwadraten is deze vergelijking uit de waargenomen waarden bepaald.

Gebruikt metaal.	Temperatuurs-verschil tusschen de twee soldeerplaatsen.	Aantal M. V. waargenomen.	Aantal M. V. berekend.	Afwijking in percenten.
Cd. (321°)	301°	2371	2365	+ 0,25°/₀
	306°,5	2411	2413	— 0,08
	304°,5	2399	2395	+ 0,17
Pb. (327°)	307°	2416	2413	+ 0,12
	311°	2448	2449	— 0,04
Zn. (419°)	406°	3332	3318	+ 0,42
	405°	3323	3308	+ 0,45
	405°	3316	3308	+ 0,24
	403°	3279	3289	— 0,30
	399°	3246	3251	— 0,15
Sb. (630°)	617°	5349	5372	— 0,40
	615°	5362	5352	+ 0,19
	616°	5319	5363	— 0,82
	610°	5299	5302	— 0,06
	614°	5332	5342	— 0,18
Ag. (955°)	942°	8892	8877	+ 0,17
Au. (1064°)	1050°	10145	10133	+ 0,12
Cu. (1065°)	1052°	10149	10157	— 0,08

Elk dezer cijfers stelt niet één aflezing voor, doch is het gemiddelde van een groot aantal waarnemingen.

De formule, waarmede de 4e kolom berekend is, luidt:

$$e = -146{,}92 + 7{,}74026\ t + 0{,}0019525\ t^2$$

t uitdrukkende in e, wordt dit:

$$t = 29{,}03 + 0{,}11976\ e - 0{,}0000019144\ e^2$$

Zij geldt van 300° af. Beneden 300° heb ik het thermo-element vergeleken met een kwikthermometer, beide geplaatst in een luchtbad.

De verkregen cijfers zijn de volgende:

Temperatuursverschil tusschen luchtbad en koude soldeerplaats van het thermo-element.	Aantal M. V. Waargenomen.	Aantal M. V. Berekend.	Afwijking in percenten.
85°	657	653	+ 0,61 %
135°	1044	1041	+ 0,29
207°	1602	1607	— 0,41
219°	1697	1702	— 0,29
252°	1969	1965	+ 0,20
287°	2253	2245	+ 0,35
298°	2328	2334	— 0,26
260°	2030	2029	+ 0,05
215°	1665	1671	— 0,37
173°	1345	1339	+ 0,45
129°	998	995	+ 0,30
96°	732	738	— 0,81
72°	549	552	— 0,54
[Hierbij: 300°	Uit de formule voor boven 300°: 2351]	2350	+ 0,04

Het gevonden verband tusschen de temperatuur en de electromotorische kracht is: $e = 7{,}6172\,t + 0{,}00071695\,t^2$.

En t uitgedrukt in e:

$$t = 0{,}13128\ e - 0{,}0000016223\ e^2.$$

Op plaat IV fig. 1 vindt men de waargenomen waarden, en de kromme geconstrueerd volgens de twee vergelijkingen.

Nog rest mij iets te zeggen over den galvanometer, wat ik om de goede volgorde niet tusschen de vorige pagina's heb ingelascht.

De galvanometer, (een *Rosenthal*'sche uit de fabriek van *Edelmann*), geeft zijn uitslagen natuurlijk in schaaldeelen; de waarde van elk schaaldeel moest dus van te voren bepaald worden. Hiervoor werd gebruikt een accumulator van *Gülcher*, waarvan het electromotorisch vermogen vóór en na de ijking van den galvanometer, (wat geen verschil gaf), werd bepaald met een präcisions-voltmeter van *Siemens* en *Halske*. Deze wijst duizendste deelen van volts nauwkeurig aan. Door nevensluitingen werd er voor gezorgd, dat de galvanometer slechts zóóveel stroom kreeg, als later bij de thermostroomen het geval zou zijn. De schaal was in cM. en mM. verdeeld. De weerstandsbank werd eerst nog vergeleken met een geijkten normaal-weerstand van de Reichsanstalt te Berlijn.

De bij de ijking van den galvanometer verkregen resultaten waren:

Uitwijking in cM.:	Stroomsterkte in Mikro-ampères:		Afwijking in percenten.
	gevonden:	berekend:	
42,57	195,30	195,30	0 %
41,66	190,69	189,70	+ 0,52
31,50	131,64	131,90	— 0,20
25,08	99,29	99,62	— 0,33
24,65	97,62	97,56	+ 0,06
24,34	96,25	96,09	+ 0,17
13,67	49,40	49,49	— 0,18
13,58	49,04	49,12	— 0,16
11,64	41,19	41,45	— 0,63
11,35	40,12	40,33	— 0,52
8,20	28,37	28,41	— 0,14
7,20	24,76	24,75	+ 0,04
6,09	20,60	20,75	— 0,72
5,95	20,13	20,25	— 0,59
5,86	19,90	19,93	— 0,15
4,90	16,60	16,54	+ 0,36
3,72	12,44	12.44	0
3,04	10,08	10,13	— 0,49
3,00	9,97	9,98	— 0,10
1,52	4,99	4,97	+ 0,40
1,01	3,33	3,31	+ 0,60
0,77	2,50	2,52	— 0,80

Het verband tusschen de stroomsterkte en de uitwijking der galvanometer-naald luidde: $3{,}25\ U + 0{,}025\ U^2 + 0{,}000151\ U^3 = M$. waaruit de derde kolom berekend is.

1 mM. uitwijking komt dus overeen met: 0,33—0,46 mikroampère, gemiddeld: 0,40. Bij de volgende beschouwing heb ik dit gemiddelde aangenomen, daar ik alleen wil laten zien met hoeveel graden temperatuursverhooging een zekere verplaatsing op de afleesschaal overeenkomt. Het behoeft nauwelijks gezegd te worden, dat bij de proeven de juiste en geen gemiddelde waarden gebruikt zijn.

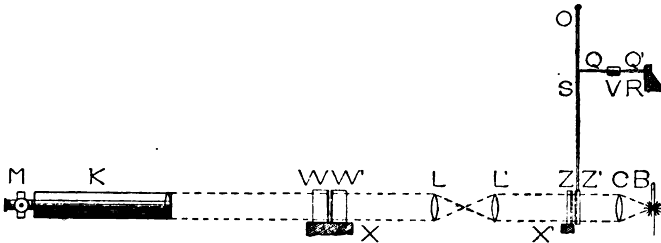
De keten, waarin de galvanometer en het thermo-element zich bevonden, bevatte in het geheel 50 Ohm weerstand. Daar het thermo-element, zooals wij gezien hebben, gemiddeld 8,5 mikrovolt gaf, voor 1° temperatuursverhooging, krijgt men dus voor elke graad temperatuurstoename een stroomversterking van 0,17 mikro-ampère; derhalve een uitwijking van 0,42 mM. Elke mM. correspondeert dus gemiddeld met 2,35° C.

Daar de gevoeligheid van den galvanometer door omstandigheden, van mijn wil onafhankelijk, kon veranderen, werd deze voortdurend gecontroleerd. De somtijds noodzakelijke correctie bedroeg echter nooit meer dan 0,5 %.

HOOFDSTUK IV.

Beschrijving van den dilatometer.

In de onderstaande schematische teekening is het beginsel voorgesteld, waarop het ontwerp van onzen dilatometer berust.



Zij V het voorwerp, waarvan de uitzetting bepaald moet worden. Wij plaatsen V zoodanig in een verwarmingstoestel, dat het eene uiteinde tegen een vast punt rust; de uitzetting wordt dan uitsluitend aan het andere uiteinde waargenomen. Een stift Q[1], bevestigd aan een zwaar stuk R, dat stevig aan den dilatometer verbonden is, geeft het vaste punt. Een tweede stift Q, zal dus door het voorwerp bij uitzetting weggedrukt worden. De ver-

plaatsing van deze stift Q moeten wij meten. Daartoe hebben wij Q aan een om O draaibare staaf bevestigd, welke aan het ondereinde een verzilverd glasplaatje Z^1 draagt. Het doel van deze staaf is tweeledig: ten eerste wordt, daar het stuk QZ^1 twee maal zoo lang is als QO, de verplaatsing bij Z^1 3 maal grooter, wat de meting gemakkelijker maakt; ten tweede komt het spiegeltje Z^1 op een grooteren afstand van het verwarmingstoestel. Daar Z^1 bij het doen der metingen wel de voornaamste plaats inneemt, mag dit spiegeltje volstrekt geen verwarming ondergaan. Tegenover Z^1 staat, vast opgesteld, een tweede spiegeltje Z. Plaatsen wij op eenigen afstand nog 2 verzilverde glasplaten W en W^1, laten wij het koolspitsenlicht B, door een lens C evenwijdig gemaakt, door de verzilverde luchtlaag ZZ^1 gaan, vervolgens door 2 lenzen L en L^1 met gemeenschappelijk brandpunt, en daarna door de verzilverde luchtlaag WW^1, dan kan met een kijker K het interferentieverschijnsel der „franges de superposition", door ons in Hoofdstuk II beschreven, waargenomen worden, *indien de afstand tusschen W en W^1 gelijk is aan den afstand tusschen Z en Z^1*. Wordt nu de staaf S, welke wij gemakshalve den „slinger" zullen noemen, weggeduwd dan verplaatst zich Z^1 in de richting van Z. Het interferentieverschijnsel verdwijnt; doch maken wij de dikte tusschen WW^1 weer gelijk aan de dikte, die *nu* tusschen Z en Z^1 gevonden wordt, dan worden de franges de superposition weer zichtbaar. Hebben wij nu verzilverde luchtlagen met bekende dikten, welke wij telkens op

de plaats van W en W[1] opstellen, dan bezitten wij hierin het middel om den afstand ZZ[1] te meten. Op deze wijze wordt het interferentieverschijnsel der franges de superposition bij onzen dilatometer toegepast.

Bij de nu volgende beschrijving van den dilatometer [1]) dienen ter vergelijking de platen I. II. 1 en II. 2, lichtdrukken naar photographische opnamen, en de lijnteekening op schaal, plaat III. De bij de beschrijving gebruikte letters hebben op deze plaat III betrekking [2]).

De basis van den dilatometer bestaat uit een zwaren ijzeren balk T met komvormige doorsnede (Pl. III. Fig. 2.) Daar er metingen gedaan moesten worden, zóó klein, dat trillingen van het toestel moesten voorkomen worden, (omdat de waarde der hierdoor ontstane afwijkingen zeer spoedig de te meten grootheden in grootte zou overtreffen,) moest vóór alles het oog gehouden worden op stevige constructie. Waar de balk het zwaarst belast is, rust hij op een ijzeren voet K; aan de andere zijde op een stelschroef L. De balk dient als optische bank, waarlangs dus verschillende stukken bewogen kunnen worden. Eén stuk, waarbij de rustige stand een hoofdzaak was, is vast op den balk gemonteerd. Dit stuk A is het voornaamste deel van den dilatometer. Het bestaat uit een massief gegoten bronzen

1) De dilatometer is vervaardigd in de Ned. Instrum. fabriek te Utrecht. Dir. *Dr. N. G. van Huffel.*

2) In de figuren 1 tot en met 7 zijn dezelfde deelen van den dilatometer steeds door dezelfde letters aangegeven.

raam, ongeveer 30 cM. hoog, en rust over een lengte van 12 cM. op den balk. Door sterke klemstukken is het onwrikbaar aan het onderstel verbonden. Verticaal in dit raam staan twee stalen cylinders S, waarlangs een draagtafel J door middel van de schuifstukken I op en neer bewogen kan worden. Deze tafel kan door schroeven op elke verlangde hoogte vastgeklemd worden. Een slede M is in deze tafel J verschuifbaar, in de richting van de lengte-as van den balk, zoodat alles, wat zich op de tafel J bevindt, in genoemde richting over een afstand van ongeveer 6 cM. verplaatst kan worden. In hoofdzaak zijn dit twee stukken, een oven H, en een door een rug versterkt opstaand steunstuk R. In R kan een koperen stang V, waarin, met een later te vermelden bedoeling, een kwartsstaafje bevestigd is, heen en weer geschoven of stevig vastgezet worden. De oven H, de plaats waar de voorwerpen verwarmd en dus tot uitzetting gebracht worden, bestaat uit een cylindervormige koperen doos, met dubbele wanden, 15 mM. van elkander. De lengte bedraagt 9,6 cM., de middellijn van de cirkelvormige doorsnede 8,7 cM. De koperen doos dient als watermantel; zij bestaat uit twee helften, waarvan het onderstuk vast aan de slede M bevestigd is, en het bovenstuk met een rand op het onderstuk kan sluiten. (Op plaat II. 2 is het bovenstuk afgenomen en op de tafel naast den balk zichtbaar.) Zoowel boven- als onderstuk bezitten 2 koperen buisjes, één voor aanvoer en één voor afvoer van water. Door deze aanvoerbuisjes met de waterleiding te



verbinden en het water met voldoende snelheid te laten doorstroomen, kan deze buitenmantel, hoe hoog ook de temperatuur in het inwendige moge worden, op dezelfde temperatuur gehouden worden; geen der overige deelen van den dilatometer kan dus tengevolge van de in den oven opgewekte warmte uitzetten. Juist op de sluitlijn van boven- en onderstuk en in het midden van de cirkelvormige zijvlakken bevindt zich aan beide zijden een opening. De helft van die openingen valt dus in den boven-, de andere helft in den ondermantel. Door deze openingen worden de staaf met kwartspunt V en een tweede aan het schuifstuk X verbonden staaf met kwartspunt gestoken, zoodat de twee kwartspunten tot binnen het oventje reiken.

Het eigenlijke verwarmings-oventje ligt in dezen mantel opgesloten. Het wordt gevormd door twee biscuitbuisjes Y en Z, welke ik voor dit doel heb laten vervaardigen [1]). Hun vorm is nagenoeg gelijk; alleen de afmetingen verschillen, om het kleinste buisje Z gemakkelijk in het grootste Y te kunnen schuiven. De afmetingen van het grootste buisje zijn: lengte 6 cM.; uitwendige doorsnede 4,2 cM. Voor het kleinste worden deze cijfers: 4,5 en 2,0 cM. De wanddikte bedraagt 3 mM. en beiden hebben een dikkeren rand, een kraag, aan de uiteinden. Het buisje Z is omwonden met platinadraad; de einden komen door het kraagje naar buiten. Daarna werd de geheele ruimte tusschen de

1) Vervaardigd in de Plateelbakkerij „*Holland*" te Utrecht. Dir. *J. W. Mijnlieff.*

twee kragen met het reeds meer genoemde mengsel van pijpaarde, water en stroop volgestreken en gedroogd. Hierdoor lagen de platina-windingen geheel in de pijpaarde ingebed en waren zij van elkander geïsoleerd. Zóó werd het kleine buisje in de grootere geschoven en ook de tusschenruimte goed met pijpaarde opgevuld en dicht gesmeerd. Toen alles voldoende droog was, werd een zwakke electrische stroom door de platina-windingen gevoerd en de stroom steeds sterker gemaakt, totdat de platina-draden, de biscuitbuisjes en de pijpaarde flink gloeiend waren. Na afkoeling was de pijpaarde hard en zaten de biscuitbuisjes aan elkander vast; het oventje was electrisch gebakken. In de cylindrische ruimte binnen het kleinste buisje worden later de te verhitten voorwerpen en het thermo-element gebracht. Deze ruimte is 4,5 cM. lang en heeft een middellijn van 1,5 cM. De toevoerdraden van den electrischen stroom en de draden van het thermo-element, loopen door vier glazen pijpjes, welke in koperen buisjes den watermantel doorsnijden, naar buiten.

Een belangrijk stuk aan het bronzen raam is de „slinger" E. Deze is vervaardigd van staal, en is draaibaar om een stalen asje, dat uiterst gevoelig in agaten pannen is opgehangen. Onderaan staaf E bevindt zich een koperen raampje F, waarin een plaatje planparallel glas (middellijn 3 cM.; dikte 3 mM.) G kan geklemd worden. Langs den slinger E is nog op en neer verschuifbaar een stuk X (Zie pl. III fig. 6), hierin is het koperen staafje met de kwartspunt, waarover in het

begin van dit hoofdstuk gesproken is, vastgemaakt. Door X te verschuiven kan de kwartspunt op de juiste plaats tegen het voorwerp gebracht worden. Een gewicht Q zorgt er voor, dat de slinger met de kwartspunt tegen het voorwerp gedrukt blijft.

Het tweede op den balk T staande stuk B, bevat de verzilverde planparallele glasplaat O. B en alle overige stukken kunnen langs den balk verschoven en stevig op elke plaats vastgeklemd worden. Stuk B bestaat uit een voetstuk, waarin door middel van een fijne schroef een slede in de richting der lengte-as van den balk kan verschoven worden. Op de slede staat een zware koperen plaat met ronde opening. Vóór deze opening treffen wij een raampje N aan. (Gelijk aan het raampje F, dat onder aan den slinger E hangt.) Dit raampje N kan door middel van 3 stiften, waaraan het bevestigd is, en die met eenige ruimte door de koperen plaat loopen, bewogen worden. Voor dit bewegen worden 3 hefboomen gebruikt met fijne instelschroeven, (op Pl. III Fig. 1 zijn slechts de schroeven P en P^1 zichtbaar,) tegengewerkt door 3 sterke spiraalveeren. Door te draaien aan de instelschroeven kan men het raampje N, dat het spiegeltje O vastklemt, naar verkiezing parallel of nagenoeg parallel stellen ten opzichte van G.

Verder op den balk vinden wij twee lenzen, (brandpuntsafstand: ongeveer 15,5 cM.) en ten slotte een sledestuk D. Dit stuk bestaat uit een slede U, loodrecht op de lengteas van de bank verschuifbaar, in het horizontale vlak, en draagt een los tafeltje op 3 stelschroeven.

Dit tafeltje is de drager van de „verzilverde luchtlaag met bekende dikte" welke in 't begin van dit hoofdstuk genoemd is en in het volgende uitvoerig behandeld wordt. De slede U kan door een hefboom U^{1} vastgezet worden, waarna een schroef U^{11} aan de slede fijne verplaatsingen kan geven.

De beschrijving van den dilatometer is hiermede geëindigd. Om er mede te kunnen werken heeft men intusschen nog lampen, kijkers, enz. noodig. Deze worden echter niet op de optische bank gemonteerd en hebben met den bouw niets te maken. Zij komen allen in het volgende hoofdstuk ter sprake.



HOOFDSTUK V.



Gebruik van den dilatometer.

Hoe wordt nu met den dilatometer de uitzetting van een voorwerp bepaald? Zooals in hoofdstuk I besproken is, wordt met kleine voorwerpen gewerkt. Daar proeven gedaan zijn met platina- en zilverstaafjes, waarvan de resultaten later medegedeeld worden, zal ik voor het uitzettende voorwerp een metaalstaafje aannemen. De lengte hiervan bedraagt ongeveer 7 mM. Dit staafje wordt gebracht in de binnenruimte van het kleinste biscuitbuisje Z, steunend met een der eindvlakken tegen de punt van de in het staafje V bevestigde kwartsspits. Tegen het andere eindvlak van het metaalstaafje rust de punt van de kwartsspits, welke aan het langs den slinger E schuivende stuk X bevestigd is. Het metaalstaafje kan echter niet in de lucht blijven zweven; het moet ondersteund worden, en wel zóó, dat het bij verwarming of afkoeling niet kan draaien of verschuiven. Daartoe rust het staafje op een V-vormig stuk, geslepen uit biscuit en bekleed met platinablik. Andere metalen

worden door oxydatie ruw of hebben te laag smeltpunt, en zijn daarom niet te gebruiken. Wij hebben dus nu het metaalstaafje in het midden van het oventje gebracht. De stift V wordt zóó ver ingeschoven, tot de punt het voorwerp raakt, en stevig vastgeschroefd. De slede M stelt nu in staat, het oventje met het staafje en het opstaande stuk R met de stift V naar den slinger te schuiven, zoodat ook deze met zijn kwartspunt, welke door X op de goede hoogte gebracht is, tegen het voorwerp rust. De slede M wordt aan het tafeltje J vastgeklemd met de daaronder zichtbare vleugelmoer. Het is duidelijk, dat nu de vaste kwartspunt, de stift V, het stuk R, de slede M, het tafeltje J en het bronzen raam A één geheel vormen met den balk T. Zet nu het metaalstaafje uit, dan wordt de slinger in de richting van het stuk B weggedrukt.

Voor wij verder gaan, moeten hierbij eenige opmerkingen gemaakt worden. Hoewel uitsluitend het doel is, de uitzetting van het metaalstaafje te kennen, kan men niet verhinderen, dat *die* deelen, welke de verkregen uitzetting moeten overbrengen, ook langer worden. Indien men weet, hoeveel die uitzetting bedraagt, levert dit geen bezwaar op. In alle geval wenscht men die uitzetting zoo gering mogelijk. Maar een tweede eisch voor de stoffen, welke zich in de onmiddellijke nabijheid van het metaalstaafje bevinden, is, dat zij aan hooge temperaturen weerstand kunnen bieden. Aangewezen waren dus hiervoor de platinametalen, porcelein en amorphe kwarts. De platinametalen hebben

in verhouding tot porcelein en amorphe kwarts nog een betrekkelijk hooge uitzettingscoëfficient. Porcelein is slecht te bewerken. Gesmolten kwarts, hoewel ook niet gemakkelijk in de behandeling, heeft een uiterst geringe uitzettingscoëfficient. *Le Châtelier* [1]) geeft aan voor de gemiddelde uitzettingscoëfficient: 0,0000007. *Callendar* [2]): 0,00000059. Het smeltpunt ligt boven dat van platina. Van dat amorphe kwarts heb ik ongeveer 2½ mM. dikke 2,5 à 3 cM lange staafjes gemaakt en deze in de uitgeboorde koperen stiften V gekit. [3]) (Nadat mijn proeven geëindigd waren, is een methode bekend gemaakt om gemakkelijker amorphe kwarts te verkrijgen. Deze technische vereenvoudiging bij het smelten van kwarts zou mij in staat gesteld hebben de kwarts staafjes langer te maken. De uitzetting der koperen stiften was dan geheel buiten spel gebleven.)

---

1) *Le Châtelier*. C. R. 18 Juni (1900.) CXXX pag. 1703.

2) Verslag van een lezing van *W. A. Shenstone*. Vitrified Quartz. nature. vol. LXIV. no 1646. May. 16th. (1901.) pag. 65.

3) De kit, welke hiervoor gebruikt werd, en een stevige verbinding tusschen kwarts en koper gaf, had de volgende samenstelling:

5 dln. pijpaarde
2 " ijzervijlsel
1 dl. bruinsteen
0,5 " keukenzout
0,5 " borax

Deze stoffen worden alle zeer fijn gewreven, en daarna vermengd. Men maakt dan met zéér weinig water een deegje er van en moet dit terstond gebruiken. Vervolgens moet men het goed laten drogen en verwarmen. Deze kit kan witgloeiend gemaakt worden en doorstaat herhaaldelijk verwarmen en afkoelen.



De slinger E wordt dus weggeduwd en het verzilverde glasplaatje G beweegt zich in de richting van het verzilverde glasplaatje O. Dit plaatje O hebben wij, door het stuk B naar A te verschuiven, zóó dicht bij G gebracht, dat de luchtlaag tusschen G en O ongeveer 0,5 mM. dik is. Met de stelschroeven P, P^{1} en P^{11} geven wij aan de luchtlaag een wigvorm. De lijn, volgens welke de twee spiegelende vlakken, — dit zijn dus de vlakken die de wig vormen, — elkander snijden, brengen wij verticaal. Bij monochromatische verlichting zullen wij dan een verticaal lijnenstelsel zien. Deze lichtbron wordt vervangen door een electrischen lichtboog, geplaatst aan het einde van den balk bij den voet K, en op de slede D wordt een verzilverde luchtlaag, waarvan de dikte bekend is, geplaatst. Is de dikte gelijk aan de dikte van de luchtlaag tusschen O en G, dan vertoonen zich de franges de superposition; dit is voldoende in vorige hoofdstukken toegelicht. Hoe verschaffen wij ons echter die verzilverde luchtlagen met bekende dikte?

Twee planparallele spiegelglasrepen [1]), 20 cM. lang, 2,5 cM. breed en 1 cM. dik werden verzilverd op de vlakken, welke de afmetingen 20 en 2,5 cM. hadden. De verzilverde vlakken legden wij tegen elkander, gescheiden door dunne reepjes mica. Brengt men aan het eene uiteinde een micareepje van 0,1 mM. dikte, aan het andere een van 0,2 mM., dan heeft de luchtlaag tusschen de zilverspiegels een wigvorm. Over een lengte van 20 cM. vinden wij dan een oploopende dikte

1) Vervaardigd door *Reinfelder* en *Hertel* te *München.*

van 0,1 tot 0,2 mM., of wat hetzelfde is, met elken mM. welke wij in de lengterichting der glasrepen verder gaan, zal de dikte der luchtlaag met 0,0005 mM. = 0,5μ toenemen. Laten wij monochromatisch licht vallen door deze wig, bijv.: licht, waarvan λ juist gelijk 0,5μ is, dan zal men op elken mM. lengte van de wig 2 interferentielijnen zien. (Duidelijk toch is het, dat met elken halven mM., dien men in de lengte-richting verder gaat, de dikte toeneemt met $\frac{1}{4}\mu$, het wegverschil der interfereerende bundels met $\frac{1}{2}\mu$, wat de golflengte van de hier aangewende lichtsoort is. Om den halven mM. zien wij dus een lijn.)

Draagt men zorg, dat de snijlijn van de verzilverde oppervlakken, loodrecht staat op de lengte-richting van de glasrepen, dan zullen alle interferentielijnen evenwijdig met die snijlijn loopen en dus ook loodrecht op die lengteas staan. De moeilijkheid is, dit te verkrijgen; nog moeilijker het te behouden, als het eenmaal verkregen is. De geringste verplaatsing van de eene glasreep ten opzichte van de andere geeft aan de interferentielijnen een schuinen stand of maakt ze, wat het ergste is, gebogen. Bovendien moeten de twee glasrepen, om als vaste maatstaf te kunnen dienen, onwrikbaar aan elkander verbonden zijn, omdat men na verloop van tijd op dezelfde plaats dezelfde interferentielijn vinden wil. Dit werd op de volgende wijze verkregen. De glasrepen liggen, door de micareepjes aan de einden gescheiden, met de verzilverde kanten tegen elkander. Zij vormen nu een blok, lang 20 c.M., breed 2,5 c.M.

en 2 c.M. dik. Over de naden, aan de kanten derhalve, die een afmeting van 20 × 2 en 2,5 × 2 c.M. hebben, worden nu dikke glasrepen gekit. Tijdens het drogen dezer kit [1]), hetgeen uren in beslag nam, werd door middel van monochromatisch licht voortdurend de stand der strepen gecontroleerd en zoo noodig, door kleine manipulaties in orde gebracht. Toch verplaatsten zich de lijnen nog een weinig gedurende de eerste dagen, welke noodig waren om de kit steenhard te doen worden, en namen een schuineren stand aan. Eenige malen 24 uren achtereen contrôle uit te oefenen is ondoenlijk; en toch zou de schuinere stand waarschijnlijk niet te beletten zijn geweest, daar ik dezen toeschrijf aan het indrogen der kit, die kleine spanningen in de glasmassa tengevolge zal hebben. Bij de metingen geeft deze schuinere stand geen bezwaar, aangenomen dat de lijnen niet te scheef staan.

Op deze wijze werden 8 glasrepen, dus 4 wiggen behandeld. De dikte der wiggen werd oploopend genomen, ongeveer van 0,1 m.M. tot 0,5 m.M. Toen alle droog waren, en geen veranderingen meer waargenomen werden, (behoudens die, welke het gevolg waren van wijzigingen in de kamertemperatuur, en waarmede rekening gehouden werd, zooals later blijken zal,) moesten de wiggen geijkt worden. Dat wil zeggen, van plaats tot plaats moest de juiste dikte bepaald worden. En hierbij moest aangewend worden, wat in Hoofdstuk II

1) De in den handel voorkomende „Seccotine"-kit bleek hiervoor uitstekend te zijn.

aangestipt is, de lijnen-combinatie, door verschillende lichtsoorten te voorschijn gebracht. Welke lichtsoorten men gebruikt, is vrijwel onverschillig, indien de golflengten maar eenigszins uit elkander loopen. De keuze was dus groot. Gebruikt werd het licht van gloeienden kwikdamp, omdat in dit licht, door een electrische kwiklamp verkregen, 3 bruikbare golflengten voorkomen. Bovendien geeft deze lamp een zeer sterk licht, wat niet gezegd kan worden van natrium- en lithiumvlammen en *Geissler*'sche buizen. Hiervan zou men er ook eenige moeten combineeren om over licht van 3 verschillende golflengten te kunnen beschikken. De gebezigde kwiklamp is een wijziging van die van *Arons*, en aangegeven door *Fabry* en *Pérot.* 1) Het schema is voorgesteld op Plaat III, fig. 8. Daarin is Z een gesloten nagenoeg luchtledige ruimte, waarin een rond buisje Y in 't midden uitsteekt. Beiden zijn tot bijna aan de rand van het buisje Y met kwik gevuld. X en W, twee met kwik gevulde dunne glazen buizen, staan door middel van in den glaswand ingesmolten platinadraden V en V[1] met Y en Z in verbinding. De positieve pool wordt met Z, de negatieve met Y verbonden. Men gebruikt een batterij van 26—30 Volt spanning en geeft aan den stroom een sterkte van 7 Ampère. Door een kleine schok maken de kwikmassa's contact; dit contact wordt ter-

1) Journ. de Phys. théor. et appl. *Fabry* en *Pérot.* [3] t. IX p. 379. (Juli 1900).

Deze lamp werd vervaardigd door de firma *Richard Müller-Uri* te *Braunschweig.*

stond verbroken en een lichtboog ontstaat tusschen de kwikmassa's in Y en Z. Is de lamp warm, dan vermindert men den stroom tot 3 à 4 Ampère. Dit oogenblik is gekomen, zoodra de lichtboog den vorm van een ronde pluim heeft aangenomen, welke midden boven het buisje Y zichtbaar is. Nu kan de lamp uren zonder contrôle doorbranden. De lichtboog doet door zijn hooge temperatuur de kwik in Y verdampen. Deze kwikdamp verdicht zich in bolletjes tegen den buitenwand en loopt terug in reservoir Z. Het niveau van de kwik in Y daalt, maar rijst in Z, tot dat er kwik overloopt van Z naar Y en de begin-toestand weer hersteld wordt. Bij al mijn proeven, waarbij ik monochromatisch licht noodig had, heeft deze lamp dienst gedaan.

Het kwik-spectrum bevat behalve eenige zwakkere roode, groene en violette lijnen, welke door de sterkere overheerscht worden en dus niet hinderlijk zijn, 3 lijnen van groote lichtsterkte:

een gele dubbellijn: $\lambda = \begin{cases} 0{,}57906593\ \mu\ (g_1). \\ 0{,}57695984\ \mu\ (g_2). \end{cases}$

een groene lijn: $\lambda = 0{,}54607424\ \mu$ (gr).

een violette lijn: $\lambda = 0{,}43583430\ \mu$ (v). [1]

Zoeken wij volgens de, in Hoofdstuk II aangegeven, methode de lijnen, welke van nut kunnen zijn voor de diktebepaling der wiggen, dan vinden wij:

A. Volkomen gesplitst zullen zijn de gele lijnen met orde-getal:

1) Volgens opgaven: Journ. de Phys. Théor. et appl. [3] t. IX p. 382. (Juli 1900).

	g_1	g_2
Voor de 1e keer:	136,974	137,474
2e	410,922	412,422
3e	684,870	687,370
4e	958,818	962,318
5e	1232,766	1237,266
6e	1506,714	1512,214
7e	1780,662	1787,162
	enz.	enz.

B. Volkomen samenvallen zullen de gele lijnen van orde-getal:

	g_1	g_2
0e coïncidentie	0	0
1e	273,948	274,948
2e	547,896	549,896
3e	821,844	824,844
4e	1095,792	1099,792
5e	1369,740	1374,740
6e	1643,688	1649,688
7e	1917,636	1924,636
	enz.	enz.

C. De orde-getallen van coïncideerende g_1 en groene lijnen:

	g_1	gr.
0e coïncidentie	0	0
1e	16,552	17,552
25e	413,800	438,800
29e	480,008	509,008
40e	662,080	702,080

42e	695,184	737,184
58e	960,016	1018,016
69e	1142,088	1211,088
76e	1257,952	1333,952
87e	1440,024	1527,024
96e	1588,992	1684,992
	enz.	enz.

D. En van de groene en violette lijnen:

	gr.	v.
0e coïncidentie	0	0
1e	3,953	4,953
43e	170,001	213,001
105e	415,117	520,117
150e	593,025	743,025
172e	680.002	852,002
187e	739,304	926,304
215e	850,003	1065,003
258e	1020,003	1278,003
301e	1190,004	1491,004
344e	1360,004	1704,004
387e	1530,005	1917,005
430e	1700,005	2130,005
	enz.	enz.

Bij alle tabellen heb ik slechts eenige coïncidenties uitgekozen, welke zoo volkomen mogelijk plaats vinden.

Men ziet uit de samenstelling der tabellen, dat beurtelings gebruikt zijn, de gele lijnen alleen, een gele en een groene en vervolgens een groene en een violette. Om dit te kunnen doen, moesten de andere zoolang

geabsorbeerd worden. Een eosine-oplossing houdt de groene en violette trillingen tegen en laat dus alleen de gele door. Een oplossing van kalium-chromaat houdt de violette tegen en laat geel en groen door, en een oplossing van didymium-chloruur ($Dy_2\ Cl_6$) maakt de gele lijnen onzichtbaar, zoodat groen en violet overblijven.

Als voorbeeld, om te toonen, hoe de dikte bepaald werd, zal ik de 2e wig nemen. Een der glasrepen van elke wig draagt een verdeeling in cM. en mM., uitsluitend om als indices te dienen. Daar ik de dikte der mica-plaatjes van elke wig gemeten had, had ik een ruwe taxatie, dat de dikte der wig moest loopen ongeveer van 180μ tot 300μ. In tabel A vindt men, dat bij de 685e g_1-lijn een volkomen splitsing der gele dubbellijn moet plaats vinden, d. w. z. dat de 685e g_1-lijn juist tusschen twee g_2-lijnen moet vallen, in dit geval tusschen de 686e en 687e g_2-lijnen. (De g_1- en g_2-lijnen waren aan de tint te onderscheiden. De g_1-lijn was iets meer oranje getint dan de g_2-lijn).

De 685e g_1-lijn wijst op een dikte van:

$$685 \times \frac{\lambda g_1}{2} = 685 \times 0{,}28953\ \mu = 198{,}328\ \mu.$$

Plaatsen wij de eosine-oplossing voor de kwiklamp en beschouwen wij de 2e wig, dan zien wij een volkomen splitsing bij index 5,6. Men kan zich hierbij eenige lijnen vergissen, doch dit komt direct aan het licht. Immers vervangen wij de eosine-oplossing door kaliumchromaat: Tabel C zegt dan, dat de 695e g_1-lijn moet samenvallen met de 737e groene. Tellen wij nu af van

de g_1-lijn, welke wij voor de 685ᵉ houden, dan zal de 10ᵉ, hiervanaf gerekend, moeten coïncideeren en bemerkt men, of men zich vergist heeft of niet. Dit is reeds afdoende. Wij weten dus welke g_1-lijn de 695ᵉ is en welke groene de 737ᵉ. Maar om nog meer zekerheid te hebben gebruiken wij tabel D. Twee lijnen verder, de 739ᵉ groene, moet volgens deze tabel samenvallen met een violette, (de 926ᵉ violette). Dit is met een oogopslag te zien, daar men, door de didymiumchloruur-oplossing voor de kwiklamp te zetten, een veld vol groene lijnen ziet, waarvan telkens ongeveer de 4ᵉ blauwgroen is getint door zijn samenvallen met een violette. Twijfel kan er dus nooit blijven. Bij het maken van het bij elke wig behoorende lijstje, aldus bijv.:

Index:	11,9	1598ᵉ	groene lijn.	
»	11,5	1592ᵉ	»	
»	11,0	1585ᵉ	»	
»	10,4	1576ᵉ	»	enz. door

uittellen op te maken, heeft men bovendien nog voortdurend gelegenheid coïncidenties te controleeren, om fouten bij het tellen te vermijden.

Op deze wijze werden alle wiggen behandeld. Zij bleken de volgende dikten te hebben

Wig I:	van	ongeveer	113μ	tot	ongeveer	188μ.
» II:	»	»	183μ	»	»	280μ.
» III:	»	»	300μ	»	»	383μ.
» IV:	»	»	387μ	»	»	460μ.

Al deze grenzen hebben de bijvoeging „ongeveer". Zooals reeds even gezegd is, had een verandering van

de kamertemperatuur invloed op de wiggen. Deze krimpen een weinig in of zetten iets uit, zoodat de plaats, waar een bepaalde groene lijn zichtbaar was, veranderen kan. Daarom is bij de definitieve opstelling der instrumenten, welke ik aan het slot van dit hoofdstuk geef, rekening er mede gehouden, dat men zonder moeite elk oogenblik de plaatsing van een groene lijn moet kunnen controleeren.

Thans moet ik nog beschrijven, hoe nu de uitzetting gemeten werd. Op het spiegeltje G, dat zich bij uitzetting van het voorwerp in de richting van het spiegeltje O beweegt, is een fijn kruisje gemaakt, dat als index gebruikt wordt. Wat steeds gemeten wordt, is de afstand van het kruispunt tot spiegeltje O. Het licht van de booglamp valt door G en O, passeert de lenzen C en C^1, en komt door een der wiggen, op slede D geplaatst, in een kijker. Deze, opgesteld bij de stelschroef L, is voorzien van een oculair-schroef-mikrometer. In den mikrometer heeft men een horizontalen vasten kwartsdraad en een vertikalen bewegelijken. De kijker wordt zoo ingesteld, dat het index-kruisje midden in het gezichtsveld komt. De horizontale lijn van dit kruisje laat men samenvallen met den horizontalen kwartsdraad; den verticalen kwartsdraad brengt men door middel van de mikrometerschroef op de verticale lijn van het kruisje. Nu verschuift men door grove en fijne verstelling de slede D zoolang, tot de superpositie-franges zichtbaar worden en brengt door verder verschuiven de witte centrale lijn op den vertikalen kwartsdraad. Dan is,

volgens het vroeger behandelde, de dikte der luchtlaag op de plaats van den index gelijk aan de dikte der luchtlaag op *die* plaats in de wig, waar men de centrale lijn ziet. Men heeft slechts na te gaan, welke groene lijn daar zou optreden, indien men het licht van de kwiklamp door de wig liet gaan. Het bij elke wig gemaakte lijstje geeft dit aan. Wij kennen dus het ordegetal der groene lijn, wij kennen de golflengte en weten derhalve de dikte in mikrons. In 't algemeen zal echter de kruisdraad tusschen twee groene lijnen invallen. De mikrometerschroef stelt in staat den afstand tot deze twee groene lijnen uit te meten.

Maar er kan zich nog iets voordoen. O en G hebben bijv.: hun beginstand, ongeveer 450μ van elkander. Dit is namelijk de grootste afstand, die met de vier gebruikte wiggen te meten is. G beweegt zich naar O: de afstand wordt steeds kleiner en bereikt een waarde van ongeveer 120μ, den kleinsten afstand, met deze wiggen te bepalen. Nu kan men O een bepaalden afstand achteruit brengen, welken men weer door middel van de wiggen bepaalt. Dit stelt in staat grootere uitzettingen te meten, dan 450μ — 120μ = 380μ, het directe vermogen der wiggen. Gemakkelijker zou het zijn over een zéér groot aantal glaswiggen te kunnen beschikken, om genoemde terugschuiving overbodig te maken, doch de finantiëele zijde stelt een grens. [1])

Wij hebben de verplaatsing van G naar O gemeten.

---

1) De vier glaswiggen kosten 90 Mark per stuk.

Dit is echter niet de uitzetting. Deze wordt, door de slingerlengte, vergroot overgebracht op de spiegeltjes. Eerst werd overwogen de verhouding van de uitzetting tot de gemeten verplaatsing te berekenen uit de afmetingen van den slinger, de plaats van het kruisje op spiegeltje G, enz. Deze afmetingen goed te bepalen, had zijn bezwaren: bijv. was het moeilijk te weten te komen, wat de juiste plaats van het ophangpunt was. Bovendien moest, al was zij nog zoo gering, een correctie aangebracht worden, daar het kruisje op de verzilverde oppervlakte van G geen rechte lijn, maar een deel van een cirkel beschrijft. Daarom was het eenvoudiger deze verhouding practisch te bepalen. Hiertoe werd aan den bovendwarsbalk van het bronzen raam A een mikroskoop (van *Zeiss*) geklemd, voorzien van een oculairschroefmikrometer. Deze mikroskoop kon ingesteld worden op een index, aangebracht op de bewegelijke kwartspunt. Als index diende een kwartsdraadje, 2 mM. lang en 0,004 mM. dik. Door nu den slinger willekeurige verplaatsingen te geven, de verplaatsing van de kwartspunt met den mikroskoop, en de verplaatsing van het spiegeltje G door middel van de wiggen te bepalen, kon voor elke verplaatsing de verhouding gevonden worden. Is M de gemeten verplaatsing van G, en W die van de kwartspunt, dan geeft:

$0{,}357875\ M - 0{,}00000259\ M^2 = W$, het verband tusschen M en W. In teekening gebracht, wordt de lijn nagenoeg recht, zooals te verwachten is.

Ten slotte een korte bespreking van de opstelling der

instrumenten. (Verg. Pl. III. Fig. 9). De dilatometer wordt aangegeven door U. Hierop zijn Y de slede met de wig, X en X[1] de lenzen, B het stuk met het vaste spiegeltje, A het stuk met den slinger en Z het oventje. S is de booglamp, waarvoor een bakje L[1] geplaatst is, met water gevuld om verwarming der spiegeltjes te voorkomen. P is de kijker met mikrometeroculair voor het waarnemen en uitmeten der interferentielijnen. Loodrecht op de lengte-as van den dilatometer werpt de kwiklamp R zijn stralen, door K, een der absorptiebakjes en L, een bakje met water. Zonder letter is op den dilatometer een spiegeltje aangegeven, onder een hoek van 45°, dat het licht van de kwiklamp door de wiggen in den kijker P werpt. Door beurtelings de booglamp S of de kwiklamp R te laten branden, kan men dus naar willekeur de superpositiefranjes of de eenvoudige interferentielijnen waarnemen. Op deze wijze kon ik telkens de plaats der groene lijnen verifieeren. De gestippelde lijn stelt de stroomketen voor van het thermo-element. Deze begint in het oventje Z, doorloopt den galvanometer T, den stroomsluiter J en de weerstandsbank I, om verder naar het oventje terug te keeren. Q is de afleeskijker voor den galvanometer.

Eindelijk zijn G de kabels van de accumulatorenbatterij. Deze splitsen zich in de stroomloopen F en D. F zorgt voor de verwarming van den electrischen oven, en doorloopt achtereenvolgens de weerstanden N[11], (uitschakelbaar), N[1] en den koolrheostaat N, den ampèremeter O[1], den stroomsluiter J[1] en het oventje. De tak

D doorloopt een ampèremeter O en den weerstand M. De stroom, welke door dezen tak loopt, kan met behulp van een stroomwisselaar beurtelings door E naar de booglamp S, of door C naar de kwiklamp R geleid worden.



HOOFDSTUK VI.

Resultaten.

Daar het doel van dit proefschrift niet geweest is, het geven van een tabel met uitzettingscoëfficiënten, maar wèl, de uitkomsten mede te deelen van een poging een dilatometer te bouwen, berustende op een nieuw beginsel, waarbij de gebreken van vroegere apparaten weggelaten, en nieuwe fouten zooveel mogelijk vermeden werden, kon ik met enkele bepalingen volstaan. Deze moesten echter volgen, om te toonen, dat de dilatometer practisch bruikbaar is.

De bepalingen zijn gedaan met platina en zilver. Twee metalen zijn gekozen om een correctie te kunnen aanbrengen in de voor de uitzettingen gevonden waarden. Bij de beschrijving van den dilatometer en van de methode om hem te gebruiken, is gebleken, dat men behalve de uitzetting der te onderzoeken stof, ook nog de uitzetting vindt van de koper- en kwartsstaafjes. Misschien was door een theoretische beschouwing, waarbij de temperatuur binnen en buiten den oven en de lengte van de kwarts- en koperstaafjes in aanmerking genomen werd, wel een waarde voor dit bedrag te vinden, doch het onbekende in deze gegevens en het hypothetische

in de verwerking ervan maken een dergelijke theoretische correctie in dit geval waardeloos.

Naar de volgende methode kan echter de storende extra-uitzetting geëlimineerd worden. Men bepaalt bijv. de uitzetting van een zilverstaafje bij t° en vindt dus de uitzetting van het zilver en de extra-uitzetting bij die temperatuur. Ditzelfde wordt gedaan met een even-lang platinastaafje bij dezelfde temperatuur. En ten derde male doet men dit met een staafje, gedeeltelijk uit zilver, en gedeeltelijk uit platina bestaande, doch waarvan de totale lengte weer dezelfde is. Drie verschillende waarden voor de totale uitzettingen bij een zelfde temperatuur t° worden dus gevonden. Onbekend zijn: de uitzettingscoëfficient van platina voor t°, die van zilver voor t°, en de uitzetting der kwarts-kopercombinatie ook bij t°. Dit laatste bedrag komt bij alle 3 bepalingen voor. Men heeft dus 3 vergelijkingen met 3 onbekenden. Het eenige willekeurige hierbij is, dat aangenomen wordt, dat de extra-uitzetting, — mits onder dezelfde condities, dat namelijk de kwartspunten even ver in den oven reiken, bij alle proeven, — bij t° steeds dezelfde is. Vervullen wij de gestelde voorwaarden, door de staafjes steeds even lang te nemen, dan is deze onderstelling wel geoorloofd.

En nu de resultaten. De bepalingen werden steeds 's avonds gedaan in rustige omgeving, daar werken overdag onmogelijk was door de trillingen, die wagens, wandelaars, enz. aan het laboratorium-gebouw en dus ook aan den slinger mededeelden.

Het platinastaafje had een lengte, gemeten met een spherometer, van 6,901 mM. (Vóór de proeven: 6,8995 mM.; na de proeven: 6,9027 mM.; gemiddeld: 6,901 mM.)

De verkregen cijfers zal ik eerst mededeelen. Daarna worden de tabellen toegelicht.

Platina.

A. Kamertemperatuur: 21°.

Koude soldeerplaats van het thermo-element: 21°.

Nulstand van den slinger: 1676,611 $\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand van den slinger: 1352,000 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen nulstand en steunstand:

324,611 $\frac{\lambda}{2} = 88^{\mu},630$.

Dus is de verplaatsing van de kwartspunt hierbij: $31^{\mu},697$.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem.	M. V.	T + 21°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand.	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
3,44	50	574,0	95°,8	452,241	123,194	44,048	12,351
5,50	—	933,0	142°,0	528,875	144,400	51,623	19,926
7,33	—	1262,3	184°,1	601,342	164,188	58,689	26,992
10,62	—	1876,2	261°,6	729,471	199,173	71,176	39,479
12,50	—	2241,8	307°,1	806,231	220,130	78,653	46,956
14,50	—	2642,3	353°,1	902,908	246,524	88,067	56,370
15,16	—	2777,1	367°,5	909,491	248,324	88,709	57.012
19,00	—	3590,5	455°,9	1089,102	297,367	106,191	74,494
23,45	—	4595,8	560°,0	1279,336	349,300	124,692	92,995
26,90	—	5423,0	643°,2	1445,770	394,745	140,885	109,188
28,70	—	5872,3	687°,3	1562,878	426,730	152,244	120,547

Den nulstand van den slinger noem ik dien stand, waarbij de slinger volkomen vrij hangt, en nog niet tegen het voorwerp steunt. Daarbij beteekent 1676,611 $\frac{\lambda}{2}$, dat op de plaats van het merkteeken op spiegeltje G, tusschen O en G een afstand van 1676,611 $\frac{\lambda}{2}$ van het groene licht van het kwikspectrum gevonden wordt. $\left(\frac{\lambda}{2} = 0^{\mu},2730371.\right)$

De steunstand is die stand, waarbij het voorwerpje tegen de kwartspunt van den slinger gebracht is. Hierbij ondergaat de slinger noodzakelijk een kleine verplaatsing, die in rekening gebracht moet worden. Daarom is het verschil tusschen den nulstand en den steunstand aangegeven: 324,611 $\frac{\lambda}{2}$. Dit tot mikrons herleid geeft: $88^{\mu},630$. Is dit de verplaatsing van het spiegeltje G, dan is volgens de op pagina 65 gegeven formule, de verplaatsing van de kwartspunt: $31^{\mu},697$.

In de eerste kolom van de tabel vindt men de uitwijking der galvanometer-naald; daarnaast den weerstand in de keten van het thermo-element. De hieruit berekende electromotorische kracht geeft de derde kolom, uitgedrukt in mikrovolts. En uit deze derde kolom laat zich het temperatuurs-verschil bepalen tusschen de warme en koude soldeerplaats van het thermo-element. Daar de koude soldeerplaats een temperatuur van 21° heeft, is in de vierde kolom T + 21° de temperatuur van het oventje ten opzichte van het nulpunt van de Celsius-schaal.

De volgende kolom geeft de verplaatsing van het spiegeltje G, uit den nulstand gerekend. Deze waarden, tot mikrons herleid, zijn in de 6[e] kolom te vinden. De voorlaatste kolom geeft de verplaatsing van de kwartspunt in mikrons, ook gerekend uit den nulstand. En ten slotte vindt men in de laatste kolom de werkelijke uitzetting, d. i. de waarde uit de voorlaatste kolom verminderd met 31$^{\mu}$,697, dus de verplaatsing van de kwartspunt ten opzichte van den steunstand.

Deze notatie blijft voor alle volgende tabellen dezelfde.

B. Kamertemperatuur: 20°.

Koude soldeerplaats van het thermo-element: 20°.

Nulstand: $1679{,}535\frac{\lambda}{2}$

Steunstand: $883{,}101\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen den steunstand en den nulstand: $796{,}434\frac{\lambda}{2} = 217^{\mu}{,}455$.

Verplaatsing van de kwartspunt hierbij: 77$^{\mu}$,699.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem	M. V.	T + 20°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand.	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
4,50	50	757,5	118°,4	959,452	261,963	93,571	15,872
5,57	—	945,0	142°,6	1000,154	273,081	97,534	19,835
6,13	—	1045,2	155°,4	1023,066	279,337	99,765	22,066
9,52	—	1667,3	234°,4	1158,273	316,250	112,919	35,220
11,00	—	1949,0	269°,7	1215,722	331,931	118,506	40,807
24,90	—	4937,8	593°,6	1832,273	500,278	178,389	100,690
26,35	—	5288,3	628°,8	1910,378	521,600	185,414	107,715
29,43	—	6058,1	704°,2	2069,134	564,950	201,351	123,652

C. Kamertemperatuur 21°.

Koude soldeerplaats van het thermo-element: 21°.

Nulstand: $1679{,}833\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: $1285{,}475\ \frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen den steunstand en den nulstand:

$394{,}358\frac{\lambda}{2} = 107^{\mu}{,}673$.

Verplaatsing van de kwartspunt: $38^{\mu}{,}503$.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem.	M. V.	T + 21°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand.	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
3,44	50	574,0	95°,8	519,333	141,797	50,694	12,191
11,06	—	1960,6	272°,2	817,669	223,285	79,779	41,276
12,25	—	2192,4	301°,0	866,732	236,653	84,547	46,044
14,82	—	2707,4	360°,2	968,856	264,531	94,486	55,983
19,01	—	3592,7	455°,6	1138,941	310,971	111,038	72,535
21,66	—	4183,3	517°,5	1264,519	345,262	123,254	84,751
28,98	—	5942,9	694°,1	1642,805	448,550	160,003	121,500

Zilver.

Het zilverstaafje had een lengte,

vóór de proeven: 6,8861 mM.

na de proeven: 6,8946 mM.

Gemiddeld dus: 6,890 mM.

A. Kamertemperatuur: 21°

Koude soldeerplaats thermo-element: 21°.

Nulstand: $1680{,}758\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: 1137,593 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen den steunstand en den nulstand:

543,165 $\frac{\lambda}{2}$ = 148 μ,303.

Verplaatsing van de kwartspunt: 53 μ,017.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem	M. V.	T + 21°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ	Uitzetting in μ.
4,55	50	766,2	120°,6	800,253	218,500	78,172	25,155
6,06	—	1032,3	154°,8	881,268	240,611	85,959	32,942
7,70	—	1329,3	192°,6	979,279	267,381	95,502	42,485
8,80	—	1532,4	218°,4	1036,459	282,988	101,066	48,049
12,59	—	2259,5	309°,3	1247,043	340,485	121,553	68,536
18,09	—	3393,5	434°,4	1543,326	421,390	150,344	97,327
23,00	—	4490,5	549°,2	1865,645	509,389	181,624	128,607
28,21	—	5748,5	675°,2	2208,380	602,957	214,841	161,824
29,60	—	6101,6	709°,5	2312,357	631,350	225,017	172,000

B. Kamertemperatuur: 19°.

Koude soldeerplaats thermo-element: 19°.

Nulstand: 1682,211 $\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: 930,589 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen steunstand en nulstand:

751,622 $\frac{\lambda}{2}$ = 205 μ,219.

Verplaatsing van de kwartspunt: 73 μ,333.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem.	M. V.	T + 19°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
4,55	50	766,2	118°,6	987,499	269,625	96,302	22,969
5,67	—	963,1	143°,9	1048,652	286,320	102,253	28,920
6,89	—	1181,7	171°,9	1122,965	306,614	109,486	36,153
9,58	—	1678,5	234°,8	1272,624	347,475	124,042	50,709
10,68	—	1887,7	261°,0	1339,307	365,682	130,525	57,192
12,42	—	2226,0	303°,2	1449,695	395,818	140,248	66,915
13,81	—	2502,5	335°,7	1524,500	416,455	148,589	75,256
15,30	—	2806,1	369°,0	1609,192	439,370	156,739	83,406
18,58	—	3499,6	443°,7	1788,027	488,200	174,098	100,765
21,62	—	4174,2	514°,6	1968,666	537,525	191,615	118,282
25,50	—	5082,0	607°,2	2225,231	607,571	216,479	143,146

C. Kamertemperatuur: 18°,5.

Koude soldeerplaats thermo-element: 18°.

Nulstand: 1680,333 $\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: 1194,501 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen steunstand en nulstand:

485,832 $\frac{\lambda}{2}$ = 132$^{\mu}$,652.

Verplaatsing kwartspunt: 47$^{\mu}$,427.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem.	M. V.	T + 18°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
4,00	50	670,5	105°,2	690,811	188,617	67,408	19,981
6,40	—	1093,5	159°,6	822,715	224,632	80,260	32,833
8,78	—	1528,7	215°,9	964,610	263,311	94,051	46,624
12,91	—	2322,7	315°,2	1207,207	329,608	117,679	70,251
19,98	—	3806,1	475°,1	1607,406	438,967	156,596	109,169
25,60	—	5106,1	608°,6	1962,300	535,788	190,998	143,571
27,50	—	5571,5	655°,8	2101,183	573,713	204,462	157,035
31,52	—	6602,0	755°,2	2395,832	654,157	232,997	185,570

Zilver-platina.

Het nu gebruikte staafje bestond uit 2 deelen: een zilverstaafje en een platinastaafje. Het eerste had een uitboring, ongeveer 1½ mM. diep en 1 mM. wijd. Het platina-gedeelte had daarentegen een uitstekend stiftje, uit één stuk er aangedraaid, ongeveer 1 mM. lang en dik. Dit stiftje paste ruim in de uitboring van het zilverstaafje. Hierdoor kon een verschuiving van het eene staafje ten opzichte van het andere voorkomen worden. De uitboring was echter zóó ruim, dat van klemmen geen sprake was. Ook was de uitboring ½ mM. dieper dan het stiftje lang was, om er zeker van te zijn, dat de vlakken, waarin de uitboring, en waaraan het stiftje gemaakt was, volkomen tegen elkander zouden passen.

Daar platina kleiner uitzettingscoëfficient heeft dan zilver, was de stift aan het platina-gedeelte gemaakt; dan kan ook bij uitzetting geen klemmen voorkomen.

De lengte der staafjes was, vóór de proeven:

	Ag.	3,470 mM.
	Pt.	3,366 mM.
	Samen	6,836 mM.
Na de proeven:	Ag.	3,474 mM.
	Pt.	3,368 mM.
	Samen	6,842 mM.
Gemiddeld:	Ag.	3,472 mM.
	Pt.	3,367 mM.
	Samen	6,839 mM.

A. Kamertemperatuur: 17°,5.

Koude soldeerplaats thermo-element: 17°,5.

Nulstand: 1679,138 $\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: 873,915 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen steunstand en nulstand:

805,223 $\frac{\lambda}{2} = 219^{\mu},855$.

Verplaatsing kwartspunt: $78^{\mu},535$.

Uitwijking van de galvanometernaald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo elem.	M. V.	T + 17°,5	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand.	Herleid tot μ.	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ.	Uitzetting in μ.
3,75	50	627,6	99°,2	970,158	264,888	94,614	16,079
4,86	—	820,1	124°,0	1027,249	280,473	100,170	21,635
7,50	—	1292,7	184°,5	1141,908	311,786	111,329	32,794
10,03	—	1763,2	243°,9	1264,938	345,375	123,294	44,759
11,97	—	2137,2	290°,7	1359,807	371,282	132,518	53,983
15,12	—	2768,8	363°,5	1512,403	412,945	147,341	68,806
16,42	—	3039,2	392°,8	1582,134	431,990	154,115	75,580
18,88	—	3564,5	449°,1	1700,555	464,311	165,608	87,073
20,26	—	3868,5	481°,2	1768,629	482,900	172,215	93,680
21,64	—	4178,8	513°,6	1844,097	503,500	179,533	100,998
24,80	—	4914,1	588°,8	2029,519	554,125	197,508	118,973
26,41	—	5303,0	627°,8	2123,627	579,814	206,628	128,093
29,07	—	5965,9	692°,9	2297,335	627,429	223,526	144,991

B. Kamertemperatuur: 17°.

Koude soldeerplaats thermo-element: 17°.

Nulstand: 1679,019 $\frac{\lambda}{2}$.

Steunstand: 981,817 $\frac{\lambda}{2}$.

Verschil tusschen steunstand en nulstand:

697,202 $\frac{\lambda}{2}$ = 190μ,361.

Verplaatsing kwartspunt: 68μ,031.

Uitwijking van de galvanometer-naald in cM.	Weerst. in de keten v. h. thermo-elem.	M. V.	T + 17°	$\frac{\lambda}{2}$ gemeten uit den nulstand.	Herleid tot μ	Verplaatsing van de kwartspunt gemeten uit den nulstand in μ	Uitzetting in μ
3,59	50	600,2	95°.2	853,398	233,006	83,247	15,216
5,66	—	961,3	141°,7	941,765	257,118	91,844	23,813
7,25	—	1247,1	178°,2	1022,363	279,144	99,696	31,665
9,20	—	1607,1	223°,8	1108,605	302,693	108,089	40,058
12,81	—	2303,0	310°,7	1286,231	351,192	125,365	57,334
15,32	—	2810,2	367°,5	1416,795	386,836	138,053	70,022
18,45	—	3471,4	438°,7	1574,122	429,780	153,329	85,298
20,78	—	3984,4	492°,8	1688,559	461,040	164,445	96,414
22,43	—	4359,4	531°,8	1784,118	487,122	173,715	105,684
24,67	—	4883,3	585°,2	1901,335	519,138	185,086	117,055
26,77	—	5391,2	637°,0	2080,749	555,188	197,886	129,855
30,65	—	6373,3	731°,5	2286,109	624,200	222,380	154,349

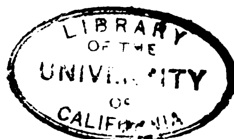
Op plaat IV heb ik de waarden dezer tabellen uitgezet, en vinden wij dus 3 kromme lijnen, het verloop aangevende van de uitzetting van platina, platina-zilver en zilver. Bepalen wij de vergelijkingen dezer lijnen, waarbij de abscis de temperatuur en de ordinaat de uitzetting in mikrons voorstelt, dan vinden wij:

Platina: $- 3{,}2981 + 0{,}165302\ t - 0{,}00002101\ t^2 + 0{,}0000000610\ t^3 = U.$

Platina-Zilver $- 5{,}1996 + 0{,}210899\ t - 0{,}00004408\ t^2 + 0{,}0000000750\ t^3 = U.$

Zilver: $- 5{,}7726 + 0{,}252907\ t - 0{,}00007216\ t^2 + 0{,}0000001009\ t^3 = U.$

Berekenen wij de uitzettingen voor gelijke temperaturen uit deze vergelijkingen, dan vinden wij:



t°.	Platina.	Platina-Zilver.	Zilver.
100°	13$^{\mu}$,083	15$^{\mu}$,525	18$^{\mu}$,897
200°	29,410	35,817	42,730
300°	46,049	56,128	66,329
400°	63,365	76,907	90,302
500°	81,725	98,605	115,253
600°	101,495	121,671	141,788
700°	123,041	146,556	170,513
[800°]	[146,729]	[173,708]	[202,031]

Hoewel de temperatuur van 800° juist even buiten de grens mijner bepalingen lag, heb ik deze toch in de tabel opgenomen. De waarden zijn door extrapoleeren verkregen.

De eerste kolom geeft de temperaturen, de tweede de uitzetting van platina bij die temperatuur, vermeerderd met de uitzetting der kwarts- en koperstiften; de volgende hetzelfde voor platina-zilver en zilver. Zij nu p_t de factor, waarmede de lengte van het platinastaafje vermenigvuldigd moet worden om de uitzetting van dit staafje bij t° te verkrijgen, z_t hetzelfde voor zilver en x_t de uitzetting van de koper-kwartscombinatie bij t°, dan hebben wij, als l_p de lengte van het platinastaafje, l_z die van het zilver en λ_p en λ_z die der stukjes van het platina-zilverstaafje zijn:

$$l_p \, p_t + x_t = U_t.$$

$$\lambda_p \, p_t + \lambda_z \, z_t + x_t = V_t.$$

$$l_z \, z_t + x_t = W_t.$$

U_t, V_t en W_t zijn de gevonden waarden der totale uitzetting (bovenstaande tabel.)

p_t, z_t en x_t zijn onbekend, l_p, l_z, λ_p, λ_z, U_t, V_t en W_t bekend. Dus 3 vergelijkingen met 3 onbekenden.

Hieruit vinden wij voor de uitzettingen van het platina- en zilverstaafje, en voor de uitzetting der kwarts-kopercombinatie x_t:

t°	Platina.	Zilver.	x_t
100°	5,$^{\mu}$003	10,$^{\mu}$817	8,$^{\mu}$080
200°	11, 304	24, 624	18, 106
300°	17, 792	38, 072	28, 257
400°	24, 583	51, 520	38, 782
500°	31, 634	65, 162	50, 091
600°	39, 092	79, 385	62, 403
700°	46, 994	94, 466	76, 047
[800°]	[54, 995]	[110, 297]	[91, 734]

De temperatuur, waarbij de lengte der staafjes gemeten is, en die, waarbij de proeven begonnen zijn, was kamertemperatuur, *niet* de temperatuur van smeltend ijs. Zij varieerde van 17°—21°, was dus gemiddeld 19°.

De hierboven gevonden uitzetting is dus niet die van 0—100°, van 0—200°, enz., maar van 19°—100°, van 19°—200°, enz. Nemen wij dit in aanmerking, dan vinden wij voor de gemiddelde uitzettingscoëfficienten:

T.	Platina.	Zilver.
van: 19°—100°	0,0000 08950	0,0000 19382
» 19°—200°	09050	19745
» 19°—300°	09175	19664
» 19°—400°	09350	19626
» 19°—500°	09530	19662
» 19°—600°	09750	19831
» 19°—700°	10000	20133
[» 19°—800°]	[10441]	[20498]

De gemiddelde uitzettingscoëfficient van platina stijgt dus steeds met de temperatuur. Die van zilver stijgt tot 2 à 300°, blijft dan tot 4 à 500° ongeveer constant en neemt daarna ook weer toe.

Ter vergelijking, geef ik hierbij de waarden door anderen gevonden:

Platina:

0— 40°	0,00000899	Fizeau. [1]
0— 50°	0907	
0— 100°	0907	
0— 100°	0884	Dulong en Petit. [2]
0— 300°	0914	
0—1000°	113	Le Châtelier. [3]
0— 100°	0857	Lavoisier en Laplace. [4]

1) C. R. 68 pag. 1125 (1869) Pogg. Ann. 138 pag. 26 (1869).

2) Ann. de Chim. [2] 7 pag. 113 (1817).

3) C. R. 108 pag. 1096 (1889).

4) Zie: Gilberts Ann. 58.

0— 100°	0992	Troughton. [4])
0— 100°	0886	Matthiessen. [5])
0— 100°	0902	Benoit. [6])
0— 100°	0900	Holborn en Day. [7])
0—1000°	1019	

Zilver:

0— 40°	0,00001921	Fizeau. [1])
0— 50°	1936	
0—100°	1935	
0—900°	205	Le Châtelier. [3])
0—100°	1909	Lavoisier en Laplace. [4])
0—100°	2083	Troughton. [4])
0—100°	1944	Matthiessen. [5])
0—100°	1875	Holborn en Day. [7])
0—900°	2259	

De verkregen resultaten geven het recht te besluiten, dat het beginsel, gevolgd bij den bouw van onzen dilatometer, practisch bruikbaar is; en dat de wijze, waarop dit beginsel aangewend is, ons ook tot het vooropgestelde doel heeft gebracht. Het *is* inderdaad gelukt, de uitzettings-coëfficient te bepalen bij hooge temperatuur van

1) C. R. 68 pag. 1125 (1869) Pogg. Ann. 138 pag. 26 (1869).

3) C. R. 108 pag. 1096 (1889).

4) Zie: Gilberts Ann. 58.

5) Pogg. Ann. 128 en 130.

6) Journ. de Phys. théor. et appl. [2] 8 pag. 253.

7) Drude's Ann. IV. 1 pag. 104 (1901).

een stof, waarvan de gebruikte hoeveelheid klein was, terwijl de genomen voorzorgen om die hoogere temperatuur niet van invloed te doen zijn op de metingen, doeltreffend zijn gebleken. Bij den hoogsten door ons bereikten graad van verhitting bleef de buitenwand van het oventje op dezelfde temperatuur, en wij mogen dus aannemen, dat de overige deelen van den dilatometer geen merkbare temperatuursverhooging ondergaan hebben.

Toch achten wij het mogelijk, dat door meer bevoegde nog werkelijke verbeteringen, — één hiervan is reeds vroeger aangegeven, — kunnen aangebracht worden. Het hier gegevene moet dus niet als een afgesloten geheel, maar als een eerste poging in de gevolgde richting beschouwd worden.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

Voor het meten van kleine lengte-veranderingen, welke in korten tijd of met schommelingen plaatsvinden, is de methode van *Fabry* en *Pérot* aangewezen.

II.

Waar *Fabry* en *Pérot* de superioriteit van hunne methode boven andere willen aantoonen, maken zij de fout de vergelijking dier methoden niet geheel door te voeren.

(Ann. de Chim. et de Phys. [7]. t. XII. p. 459—465).

III.

De zoogenaamde „cosinuswet" bij uitstraling is geen wet.

IV.

De radioactiviteit van een stof heeft dezelfde oorzaken als de luminescentie-verschijnselen.

V.

Het thermo-magnetische *Hall*-effect is een thermo-electrisch verschijnsel.

VI.

Koolstof verbindt zich met zuurstof steeds tot kooldioxyde.

VII.

Terecht zegt *Michael*: „Es ist aber nicht allein die „räumliche Lagerung der Atome, welche jetzt als „nächstes Ziel der Chemie vorschwebt, sondern die „gleiche Wichtigkeit liegt in der Erkenntniss, dass die „Atome im Moleküle nicht vereinzelte Elementarstoffe „sind, sondern dass ihre chemischen Eigenschaften auf „den gesammten Einfluss, welche auf sie im Moleküle „ausgeübt wird, zurückzuführen sind."

(Journ. für prakt. Chem. 1899. p. 486.)

VIII.

De nomenclatuur van *Richter* is te verkiezen boven de *Genève*'sche nomenclatuur.

IX.

De methode van *Berthelot* om bij de lichtgas-analyse de koolwaterstoffen aethyleen, propyleen, enz. en acetyleen van benzol af te scheiden is foutief.

X.

Het bewijs, door *Appell* en *Lacour* gegeven, van de stelling, dat een elliptische functie een begrensd aantal polen bezit in een elementair parallelogram, is niet juist.

(*Appell* et *Lacour*. Principes de la théorie des fonctions elliptiques. 1897. Art. 20. p. 21.)

XI.

Premieleeningen zijn af te keuren, daar de moreele verwachting der lotenbezitters het deelnemen aan de leening tot een onsolide spel maakt.

XII.

Algebra en rekenkunde moeten als één onderwijsvak beschouwd worden.



PLATEN.

PLATEN.

Plaat I. Totaalaanzicht van den dilatometer. (De spiegeltjes zijn niet tegen elkander geschoven).

Plaat II. 1. Aanzicht van stuk A, van de zijde der spiegeltjes gezien. (De spiegeltjes zijn tegen elkander geschoven.

Plaat II. 2. Hetzelfde, van de zijde van het oventje. (De spiegeltjes zijn tegen elkander geschoven. Het oventje is geopend).

Plaat III. Constructieteekening van den dilatometer. (Fig. 1—7). Kwiklamp van *Fabry* en *Pérot*. (Fig. 8). Schema der opstelling. (Fig. 9).

Plaat IV. Graphische voorstellingen.



Lichtdruk van H. KLEINMANN & Co., Haarlem.

PLATEN.

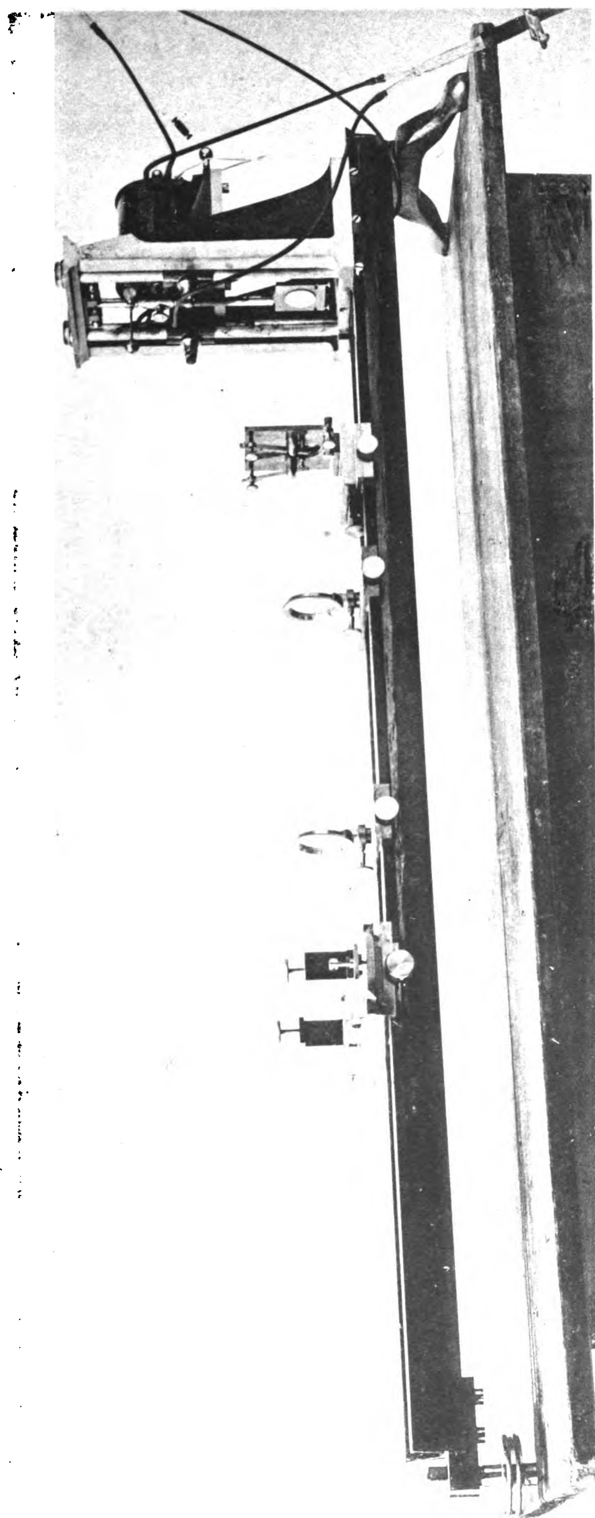
Plaat I. Totaalaanzicht van den distometer, de spiegeltjes [illegible] geschoven.

Plaat II. 1. Aanzicht van stuk A, [illegible] spiegeltjes [illegible] door [illegible] charnier [illegible].

Plaat II. 2 [illegible], van de [illegible] van [illegible]. (De spiegeltjes [illegible] ge-schoven. Het [illegible] is [illegible].

Plaat III. Constructieteekening van den distometer (Fig. 1—7). [illegible] (Fig. 8). [illegible]. (Fig. 9).

Plaat IV. Graphische voorstellingen.



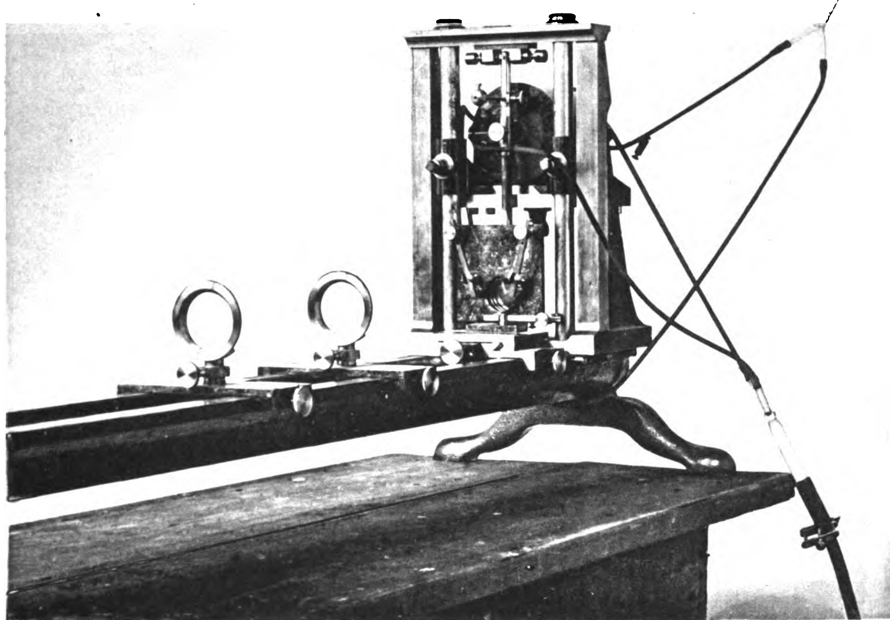
Lichtdruk van H. KLEINMANN & Co., Haarlem.

I

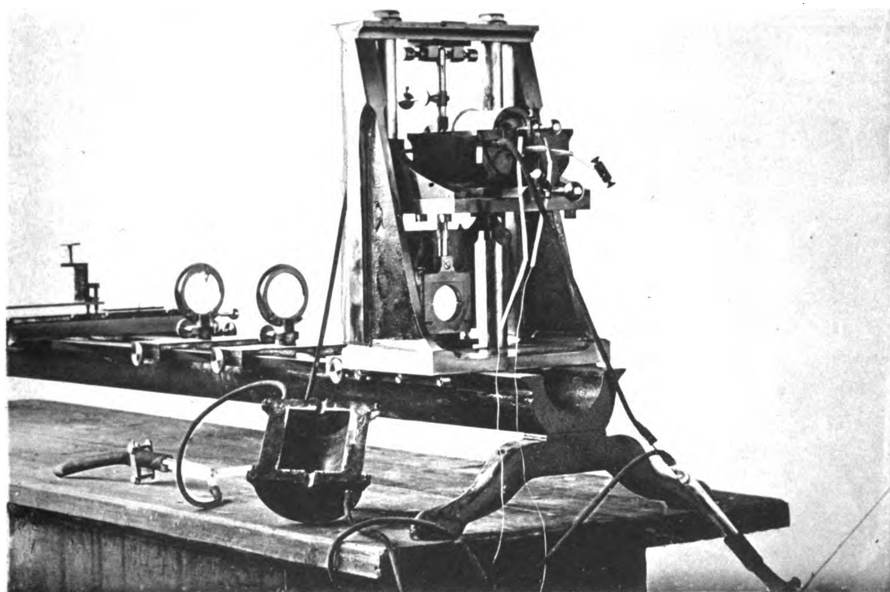
2



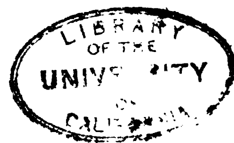
I



2



Lichtdruk van H. KLEINMANN & Co., Haarlem


LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
CALIFORNIA



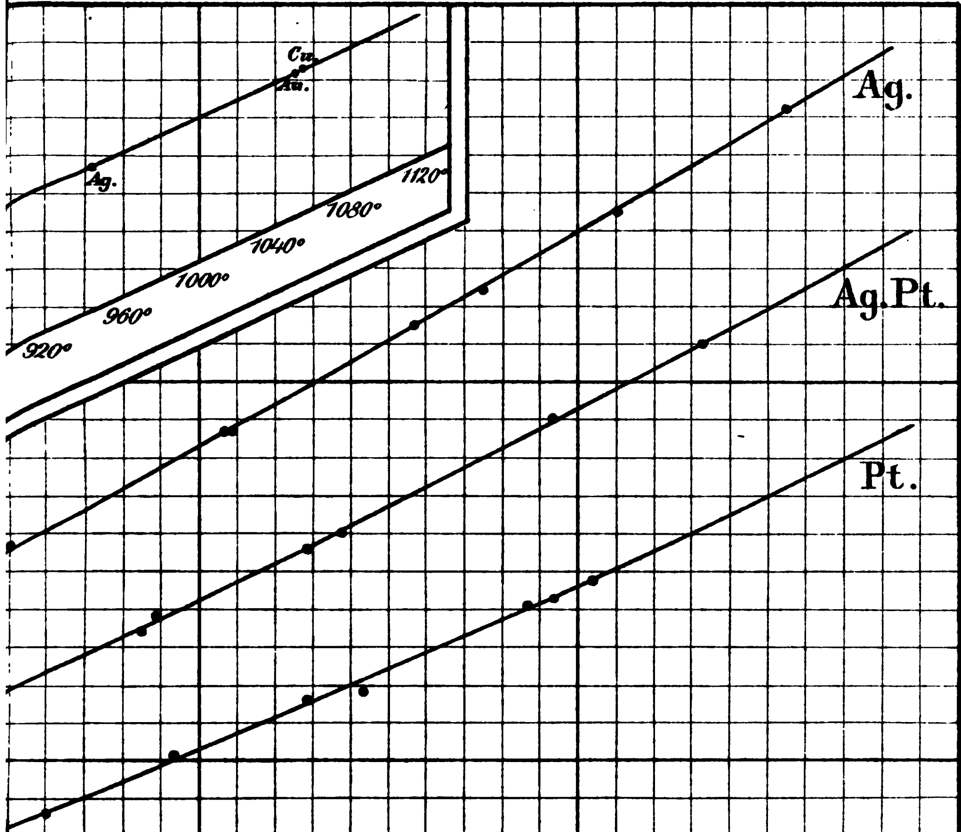
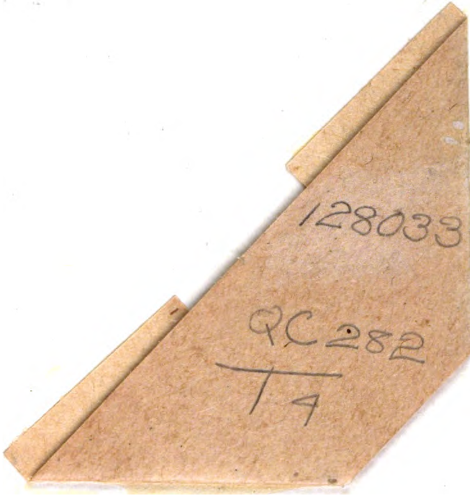


Fig. 2.

raphische voorstelling van de uitzetting
bij verschillende temperaturen.

560° 580° 600° 620° 640° 660° 680° 700° 720° 740° 760° 780° 800°




128033
QC282
T4

